Em. CAHEN

MANUEL PRATIQUE D'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

PARIS

CH. BÉRANGER EDITEUR


Digitized by Google

MANUEL PRATIQUE

D'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

MANUEL PRATIQUE

D'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

POUR

INSTALLATIONS PARTICULIÈRES

MAISONS D'HABITATION, USINES, SALLES DE RÉUNION, ETC.

PAR

Em. CAHEN

INGÉNIEUR DES MANUFACTURES DE L'ÉTAT.

Ouvrage honoré d'une souscription du Ministre des Travaux publics.

DEUXIÈME ÉDITION

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE BAUDRY ET Cie, ÉDITEURS

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15.

Même Maison à Liège, 21, rue de la Régence.

1896

PRÉFACE

Il y a quelque temps, nous avons eu à établir et à organiser, dans ses plus minimes détails, une installation de lumière électrique comportant l'emploi d'accumulateurs. A l'époque où nous avons quitté les écoles, les installations de cette nature étaient loin d'avoir l'importance qu'elles ont acquise depuis, et la phraséologie électrique actuelle était à peine connue. N'ayant pas eu à nous occuper d'électricité depuis ce moment, il nous a fallu rechercher et condenser toutes les données nécessaires à l'exécution du travail projeté.

Il existe beaucoup de traités concernant l'éclairage électrique; certains d'entre eux sont très bien faits, par des auteurs d'un grand talent. Nous en avons lu un grand nombre; mais nous n'avons trouvé aucun ouvrage ayant un caractère exclusivement pratique et contenant tous les détails qu'un électricien est obligé de savoir pour mener à bonne fin une installation complète. Nous nous sommes adressé

à différents constructeurs pour obtenir des informations complémentaires ; certains nous ont aidé très obligeamment ; d'autres ont paru livrer presque à regret quelques renseignements dont ils semblaient faire des secrets de métier ; quelques-uns nous ont communiqué des chiffres tout à fait discordants. Nous avons eu, par suite, quelque peine à recueillir tous les éléments qu'il est indispensable de posséder en pareille matière.

En publiant ces documents, contrôlés par nos expériences ou modifiés d'après nos constatations personnelles, nous croyons être utile à nos camarades, aux nombreux ingénieurs et industriels, qui désirent se familiariser rapidement avec les conditions d'installation de la lumière électrique, et qui, aujourd'hui, sont rebutés par le travail assez considérable auquel on est obligé de se livrer pour se mettre au courant de l'état actuel de cette application scientifique si importante et si féconde.

Nous n'avons donc pas l'intention de présenter au public un ouvrage savant, mais, au contraire, un traité très simple et très pratique, renfermant l'exposé détaillé des règles à suivre et des précautions à prendre pour exécuter dans de bonnes conditions une installation de lumière électrique. Nous y avons réduit les explications théoriques au strict minimum, en n'y laissant subsister que ce qu'il est absolument nécessaire de connaître pour comprendre les développements contenus dans la suite du texte. Par

contre, nous nous sommes attaché à détailler autant que possible la partie pratique, où tous ceux qui s'occupent d'éclairage électrique pourront trouver d'utiles renseignements.

Nous avons limité notre cadre à l'étude des installations particulières ; mais, dans cette modeste sphère, ce manuel est assez complet et renferme une quantité suffisante d'indications pour permettre à toute personne d'entreprendre elle-même une installation d'éclairage électrique dans son usine ou dans son appartement ; si elle veut bien suivre pas à pas la voie que nous lui traçons, en appliquant son attention à ne négliger aucun détail, nous sommes convaincu que son essai sera couronné de succès.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

PREMIÈRE PARTIE

Définitions et lois générales.

1. Analogies avec la chaleur et l'hydraulique. — La distribution de l'énergie électrique peut être comparée, dans la plupart des cas, à une distribution d'eau ou de chaleur ; on peut se faire une première idée assez nette de la signification des termes employés couramment par les électriciens en établissant un parallèle entre les phénomènes électriques, d'une part, et les phénomènes hydrauliques et calorifiques, d'autre part.

2. Force électromotrice, potentiel. — Si l'on met un réservoir d'eau en communication, au moyen d'un tuyau, avec un autre réservoir situé plus bas que lui, le réservoir supérieur se videra dans le réservoir inférieur par suite de la différence de *pression* qui s'exerce sur chaque molécule de liquide circulant dans la conduite, et il se produit un *courant* d'eau du réservoir supérieur vers le réservoir inférieur.

En mécanique, on appelle *potentiel* (1) une fonction particulière des forces qui agissent sur un corps déterminé ; dans le cas d'un liquide soumis à l'action de la pesanteur seule, cette fonction est proportionnelle à la hauteur de la masse de liquide considéré au-dessus d'un niveau pris comme origine. On peut dire par suite que le mouvement du liquide est dû à une *différence de potentiel* (ou de niveau) qui existe entre deux points de la masse du liquide.

Si l'on met un corps chaud en communication avec un corps froid par une barre bonne conductrice de la chaleur, il passera par l'intermédiaire de la barre une certaine quantité de chaleur du corps le plus chaud sur le corps le plus froid, autrement dit, il se produira au travers de la barre conductrice un *courant* calorifique dû à la *différence de température* des extrémités du barreau.

De même, si l'on considère un *conducteur électrique*, et si, par un moyen quelconque, on fait varier l'état électrique relatif de deux points de ce conducteur, il s'y manifestera un *courant* électrique, et l'on dit que cette différence de l'état électrique des deux points entre lesquels se produit le courant est une différence de *pression électrique,* de *température électrique*, ou de *potentiel électrique*, cette dernière expression étant pour ainsi dire la seule employée dans la pratique.

La cause qui produit le courant a été appelée par Volta la *force électromotrice ;* cette force électromotrice est plus ou moins élevée suivant que les deux points entre lesquels s'établit le courant sont à un potentiel plus ou moins diffé-

(1) Une force dont le point d'application suit une trajectoire donnée produit à chaque instant un travail élémentaire correspondant à son déplacement infiniment petit. Lorsque ce travail élémentaire est la différentielle exacte d'une fonction déterminée, cette fonction s'appelle le *potentiel* de la force. Le potentiel V a pour expression :

$$V = \int F \cos (Fds) \, ds.$$

rent ; elle s'exprime par le même nombre que la *différence de potentiel* électrique entre ces deux points.

3. Source électrique. — Une *source électrique* est un appareil capable de produire une différence de potentiel ou une force électromotrice entre deux points d'un circuit. Les deux points entre lesquels on peut établir un courant au moyen d'un fil conducteur s'appellent les *bornes* de la source, que ce soit une pile, un accumulateur ou une machine électrique quelconque.

4. Courants continus et alternatifs. — Certaines sources d'électricité sont construites de telle sorte que, pendant un certain temps, l'une de leurs bornes est à un potentiel plus élevé que celui de l'autre, puis, pendant une autre période, la deuxième borne a son potentiel plus élevé que celui de la première, puis les deux bornes reprennent leur potentiel primitif, et ainsi de suite. Le courant se manifeste par suite dans le conducteur tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre ; l'électricité se propageant avec une vitesse très considérable, les changements de sens du courant sont quelquefois très rapides : il peut y avoir des milliers de variations dans une seconde. Les courants ainsi obtenus sont dits *courants alternatifs*. Ceux qui se propagent toujours dans le même sens sont appelés par opposition *courants continus*.

Nous ne nous occuperons, dans la suite de cet ouvrage, que des courants continus, qui sont à peu près les seuls employés dans les petites installations.

5. Circuit. Sens d'un courant. — On nomme *circuit* une série de conducteurs et d'organes électriques placés bout à bout, de manière à former une ligne ininterrompue entre les deux bornes d'une source. Quand cette ligne ne présente

aucune solution de continuité, c'est-à-dire quand le commencement de l'un des conducteurs ou organes est relié électriquement avec la fin du précédent, tout le long de la ligne, on dit que le circuit est *fermé*. Dans ces conditions, un courant peut s'y manifester sous l'influence d'une source électrique. Lorsqu'au contraire un circuit présente une discontinuité, on dit que le circuit est *ouvert* ou coupé, et un courant ne peut pas s'y produire dans les circonstances ordinaires.

L'ensemble de plusieurs circuits reliés entre eux s'appelle un *réseau*.

Le *sens* d'un courant continu circulant dans un circuit, à l'extérieur d'une source, est déterminé par le mouvement d'un mobile, se déplaçant sur le conducteur, du point où le potentiel est le plus fort vers celui où il est le plus faible. La borne où se manifeste le potentiel le plus élevé s'appelle la borne positive, et l'autre la borne négative. A l'extérieur de la source, le courant se dirige donc de la borne positive à la borne négative.

On admet que l'inverse se produit à l'intérieur de la source, comme l'indiquent les flèches de la figure 8 ; c'est ce qui explique l'expression de circuit fermé, car le mobile revient à son point de départ, après avoir parcouru tout le circuit, à l'extérieur et à l'intérieur de la source.

6. Quantité, intensité. — Dans un conducteur électrique, il peut passer une *quantité* d'électricité plus ou moins grande, suivant les conditions d'installation du conducteur et la différence de potentiel qui existe entre ses extrémités, de même qu'il passe dans une conduite d'eau une quantité d'eau plus ou moins considérable suivant la section de la conduite et la différence de pression entre ses points extrêmes.

La quantité d'électricité qui passe *par seconde* dans un conducteur s'appelle le *débit*, ou plus généralement l'*in-*

tensité, de même que la quantité d'eau fournie par une canalisation dans une seconde s'appelle le débit de la canalisation.

7. Remarque. — Dans une canalisation d'eau, entre deux branchements, la même quantité d'eau passe dans tous les points de la conduite, ainsi que dans les réservoirs,

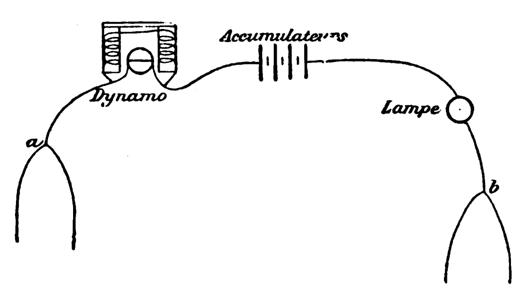


Fig. 1.

les vannes ou autres organes qui peuvent y être intercalés.

De même, la quantité d'électricité qui passe en chaque point dans une portion continue de canalisation est constante, quelle que soit la nature des différentes parties de la conduite. Cette remarque s'applique à des points quelconques d'une portion de canalisation comprise entre deux branchements successifs. Par exemple, si entre deux branchements *a b* (figure 1) il y a divers organes traversés par le courant, la même quantité d'électricité passera à travers toutes les portions du conducteur, la dynamo, les accumulateurs, la lampe, etc.

Il en résulte aussi que la quantité d'électricité qui s'écoule par seconde, c'est-à-dire l'*intensité,* est constante dans tous les points d'une canalisation situés entre deux branchements successifs.

8. Capacité. — Toujours par analogie avec l'hydraulique, la *capacité* d'un réservoir électrique (condensateur ou accumulateur) est la quantité d'électricité qu'il est susceptible d'emmagasiner à un potentiel déterminé.

9. Résistance. — Dans une distribution d'eau, les frottements, qui constituent la *résistance* de la canalisation au passage du liquide, provoquent une *perte de charge* ou de pression entre deux points d'un filet liquide circulant dans un tuyau. De même, le défaut de conductibilité d'un conducteur oppose au passage de la chaleur une résistance qui se traduit par une différence de température entre les extrémités d'une barre conductrice communiquant avec une source calorifique.

De même aussi un conducteur électrique présente une certaine *résistance* au passage du courant, et occasionne une *perte de charge* ou de *potentiel* entre deux points de ce conducteur.

La résistance est en raison inverse de la *conductibilité* électrique.

10. Unités. — Pour évaluer en nombres la force électromotrice, la quantité, l'intensité, la résistance, etc., il a fallu adopter des unités. En 1881, un Congrès international d'électriciens a établi un système d'unités fondamentales basé sur les actions électriques des courants entre eux, ainsi que sur les actions électromagnétiques des courants sur les aimants. Le choix des unités est arbitraire *a priori*, mais elles peuvent toutes être exprimées en fonction de trois unités fondamentales, les unités de longueur, de masse et de temps. Celles qui ont été désignées par le Congrès dérivent du système métrique.

11. Unité de longueur. — L'unité de *longueur* est le *centimètre*.

12. Unité de masse. — L'unité de *masse* est la *masse du gramme*. On a pris comme unité fondamentale l'unité de masse, de préférence à l'unité de poids, parce que la masse du gramme est invariable, tandis que le gramme — en tant que poids d'un centimètre cube d'eau distillée — varie suivant le point de la surface du globe terrestre où se trouve l'observateur.

13. Unité de temps. — L'unité de *temps* est la *seconde*.

14. Système C. G. S. — Le *centimètre*, la masse du *gramme* et la *seconde* étant choisis comme unités fondamentales, toutes les autres unités en dérivent directement, et leur ensemble s'appelle le *système C. G. S.*

Les unités du système C. G. S. seraient ou trop grandes ou trop petites dans les applications. On les a rendues pratiques en les multipliant ou les divisant par des multiples de 10 ; le choix de ces coefficients est tel que ces puissances de 10 s'éliminent dans les équations principales qui relient les quantités dont nous aurons à nous occuper, de sorte que ces équations sont satisfaites quand on y remplace les lettres par des nombres exprimés en unités absolues C. G. S. ou en unités pratiques.

15. Unité de force électromotrice. — L'unité pratique de force électromotrice s'appelle *Volt*. La force électromotrice se représente dans les formules par la lettre E.

16. Unité de quantité. — L'unité de quantité est le *Coulomb*.

17. Unité d'intensité ou de débit. — L'unité d'intensité est l'*Ampère*. L'intensité se représente dans les formules par la lettre I.

18. 1re Remarque. — Il ne faut pas confondre les unités de quantité et d'intensité. L'intensité, comme nous venons de le voir, est la quantité d'électricité qui passe par seconde dans un conducteur. Le langage de l'hydraulique est moins net dans ce sens que le langage électrique, car l'unité de quantité d'eau est le mètre cube, et l'unité de débit est aussi le mètre cube par seconde. Un même nom est ainsi appliqué à deux unités différentes, tandis qu'en électricité, on les désigne sous deux appellations distinctes.

19. 2me Remarque. — Dans la pratique, on emploie aussi une autre unité de quantité, appelée l'*ampère-heure*. C'est la quantité d'électricité qui a passé pendant une heure dans un circuit traversé par un courant ayant une intensité de 1 ampère. Comme il y a 3600 secondes dans une heure, 1 ampère-heure vaut 3600 coulombs.

20. Unité de résistance. — L'unité de résistance se nomme l'*Ohm*.

21. Relations entre les divers éléments d'un circuit. — Dans un circuit électrique, il existe certaines relations entre la force électromotrice, l'intensité et la résistance des différentes parties qui le composent. Ces relations sont exprimées par deux lois, la loi d'Ohm et la loi de Kirchhoff, qui permettent de calculer, dans un réseau de conducteurs, l'une de ces variables, connaissant les autres.

22. Loi d'Ohm. — Dans un circuit fermé, la somme algébrique des forces électromotrices est égale à la somme des produits de l'intensité par la résistance de chaque fraction du circuit.

La loi d'Ohm s'exprime par la formule

$$\Sigma E = \Sigma IR.$$

23. Loi de Kirchhoff. — La somme algébrique des intensités des courants qui aboutissent au point de croisement de plusieurs conducteurs est nulle.

La loi de Kirchhoff s'exprime par la formule :

$$\Sigma I = 0.$$

24. 1re Remarque. — Lorsqu'on applique la loi d'Ohm, on doit compter comme positives les forces électromotrices qui produisent une augmentation de potentiel, et comme négatives celles qui produisent une diminution de potentiel.

On doit compter comme positive l'intensité des courants qui parcourent la ligne dans un certain sens, et comme négative l'intensité des courants qui y circulent en sens inverse.

25. 2me Remarque. — Dans le terme Σ I R, il faut tenir compte de la résistance intérieure des sources d'électricité, aussi bien que de la résistance de différents tronçons de la ligne.

26. 3me Remarque. — En appliquant la loi de Kirchhoff, on doit compter comme positive l'intensité des courants qui se rapprochent du point de croisement des conducteurs, et comme négative l'intensité des courants qui s'en éloignent.

27. 4me Remarque. — L'intensité dans une même conduite entre deux croisements est constante (no 7).

28. 5me Remarque. — La loi d'Ohm $E = \Sigma I R$ s'applique également entre les extrémités d'un circuit ouvert, à condition de prendre pour E la différence de potentiel qui existe entre les deux extrémités du conducteur ; bien

entendu, s'il y a une source d'électricité dans le circuit, il faut en tenir compte.

La loi d'Ohm a une très grande importance dans la pratique ; elle reçoit de nombreuses applications dans les calculs relatifs aux installations électriques ; il est indispensable de la connaître parfaitement et d'en bien comprendre la portée.

Elle montre qu'au moyen d'une source électrique quelconque, on peut à volonté obtenir une infinité de courants dont l'intensité peut prendre toutes les valeurs comprises entre zéro et une limite maxima variable dans chaque cas particulier.

Prenons, par exemple, une source ayant une force électromotrice de 2 volts et une résistance intérieure de 0,002 ohm, un accumulateur de 40 kilog., par exemple (nº 86). En réunissant ses bornes par une grosse barre de cuivre ayant une résistance négligeable, le courant résultant aura une intensité donnée par la loi d'Ohm E = I R, d'où :

$$I = \frac{E}{R} = \frac{2}{0{,}002} = 1\,000 \text{ ampères.}$$

Le courant maximum pouvant être obtenu au moyen de la source a une intensité de 1 000 ampères ; mais cette source est susceptible de produire un courant d'une intensité quelconque comprise entre 0 et 1 000 ampères. Il suffit pour cela de remplacer la barre de cuivre dont nous venons de parler par un fil ayant une résistance égale au quotient de la division de 2 par la valeur en ampères de l'intensité que l'on veut obtenir.

On voit donc qu'une source très faible peut donner naissance à un courant très énergique. Réciproquement, on peut engendrer au moyen d'une source très forte un courant d'intensité très faible, à condition d'intercaler dans le circuit extérieur une résistance suffisante.

La loi d'Ohm montre encore que dans une portion de circuit ne comprenant pas de source électrique, le régime de son état électrique est complètement déterminé par l'indication de l'intensité seule ou de la force électromotrice seule. Prenons par exemple une lampe à incandescence ayant une résistance de 100 ohms. Si elle est traversée par un courant de 2 ampères, la différence de potentiel aux bornes de la lampe sera donnée par la formule

$$E = IR = 2 \times 100 = 200 \text{ volts},$$

d'après le premier alinéa de ce paragraphe. Quelles que

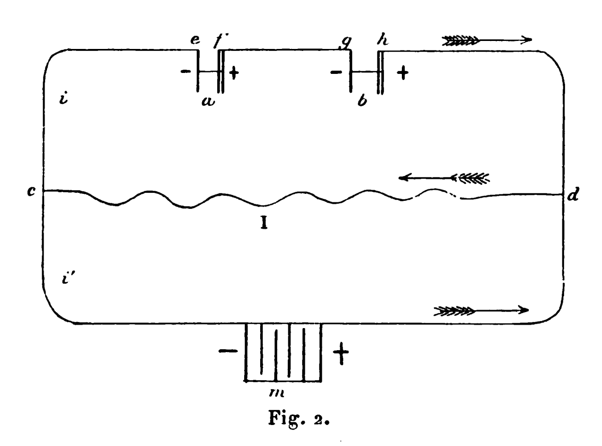


Fig. 2.

soient la puissance de la source et les autres conditions de la canalisation, la différence de potentiel aux bornes du foyer sera toujours de 200 volts si l'on maintient l'intensité du courant à 2 ampères, et réciproquement l'intensité du courant sera de 2 ampères, si on le règle de telle sorte que les instruments de mesure indiquent une différence de potentiel de 200 volts aux bornes de la lampe.

Cette relation intime entre la force électromotrice d'une source et l'intensité du courant qu'elle engendre explique

une foule de faits dont les conséquences pratiques sont très importantes; nous aurons fréquemment occasion d'en constater des applications.

L'exemple du numéro suivant montre la manière de calculer l'intensité des courants circulant dans un réseau de fils conducteurs.

29. Exemple de calcul. — Un conducteur *m c e f g h d* part du pôle positif *f* d'une pile Bunsen, passe au pôle négatif *g* d'une deuxième pile Bunsen semblable à la première. Le fil repart du pôle positif *h* de cette deuxième pile et arrive au pôle positif d'un accumulateur *m*. Il repart du pôle négatif de l'accumulateur pour revenir au pôle négatif de la première pile. En outre, un deuxième conducteur relie deux points *c d* du premier, comme cela est indiqué sur la figure 2.

La force électromotrice de chaque pile est de 1,8 volt. Celle de l'accumulateur est de 2,1 volts. Les résistances sont les suivantes :

Tronçon *f g*	0,1 ohm
Tronçon *h d*	0,2 ohm
Tronçon *d m*.	0,3 ohm
Tronçon *m c*.	0,45 ohm
Tronçon *c e*	0,5 ohm
Conducteur *c d*.	1
Résistance intérieure de chaque pile .	0,1 ohm
Résistance intérieure de l'accumulateur.	0,05 ohm.

On demande quelles seront les intensités dans chaque partie du réseau.

D'après la 4[me] remarque (n° 27), il y aura dans le réseau trois intensités différentes. Appelons

i, l'intensité du courant qui traverse la portion *c e f g h d*, y compris les piles (n° 7),

i', l'intensité du courant qui traverse la portion *c m d*, y compris l'accumulateur.

I, l'intensité du courant qui traverse le conducteur *c d*.

Faisons une hypothèse sur le sens du passage du courant dans les conducteurs, de manière à fixer le signe des intensités. Si nous nous sommes trompés dans le sens de l'un des courants, nous en serons avertis par le calcul, qui conduira à donner à l'intensité correspondante un signe contraire à celui que nous lui attribuons.

En considérant le circuit *c e f g h d c*, la loi d'Ohm (nº 22) donne :

$$1{,}8 + 1{,}8 = (0{,}1 + 0{,}2 + 0{,}5) \times i + (0{,}1 + 0{,}1) \times i + 1 \times I$$

forces électro-motrices des piles.	résistances des tronçons *fg* *hd* *ce*	résistances intérieures des piles.	résistance du conducteur *cd*

ou

$$(1) \qquad 3{,}6 = i + I.$$

En considérant le circuit *c e f g h d m c*, la loi d'Ohm donne :

$$1{,}8 + 1{,}8 \quad - 2{,}1 \quad = (0{,}1 + 0{,}2 + 0{,}5)\, i + (0{,}1 + 0{,}1)\, i$$

forces électro-motrices des piles.	force électro-motrice de l'accumulateur.	résistances des tronçons *fg* *hd* *ce*	résistances intérieures des piles.

$$- (0{,}3 + 0{,}45)\, i' \quad - 0{,}05\, i'$$

résistances des tronçons *dm* *mc*	résistance intérieure de l'accumulateur

ou

$$(2) \qquad 1{,}5 = i - 0{,}8\, i'$$

En considérant le croisement *d*, la loi de Kirchhoff (nº 23) donne :

$$(3) \qquad I - i - i' = 0$$

Les équations (1) (2) et (3) résolvent la question. On en tire :

$$i = \frac{219}{130} \text{ ampère} \quad i' = \frac{30}{130} \text{ ampère} \quad I = \frac{249}{130} \text{ ampère.}$$

La solution de ce problème est très importante. C'est la base du calcul d'une canalisation de lumière électrique.

30. Résistance totale d'un conducteur. — La résistance d'un conducteur linéaire est donnée par la formule :

$$R = \frac{\alpha l}{s} 10^{-6}$$

R étant la résistance totale du conducteur en ohms.
α un coefficient variable pour chaque corps, appelé la *résistance spécifique* du corps,
l la longueur en centimètres,
s la section en centimètres carrés.

Les valeurs du coefficient α sont les suivantes, à la température de 0° centigrade, pour les métaux et les corps conducteurs les plus employés dans les applications électriques.

Argent recuit.	1,492
Cuivre pur recuit	1,584
Platine recuit.	8,981
Fer recuit	9,636
Ferro-nickel recuit	78,300
Maillechort	20,760
Charbons des lampes à arc . . .	4 800 à 8 000

La résistance spécifique des conducteurs varie avec la température. Pour les métaux elle augmente, pour le charbon elle diminue, lorsque la température augmente ; mais cette augmentation ou diminution n'est sensible que pour une variation notable de température, par exemple pour les lampes à incandescence dans lesquelles le fil de charbon est porté à la chaleur du rouge.

31. Travail produit par un courant. — Une quantité d'énergie électrique, dépensée sous forme de courant, produit une certaine quantité de *travail mécanique,* chimique, calorifique ou lumineux. De même un travail mécanique déterminé est susceptible de produire un courant électrique. Entre le travail mécanique dépensé ou développé,

et le courant produit ou utilisé, il existe la relation fondamentale suivante :

$$T = \frac{EI}{g} \quad \text{ou} \quad N = \frac{EI}{75\, g},$$

dans laquelle les lettres représentent les quantités indiquées ci-après :

T le travail en kilogrammètres par seconde.
N le nombre de chevaux-vapeur par seconde.
E la force électromotrice en volts.
I l'intensité en ampères.
g l'accélération de la pesanteur = 9,808 à Paris.

Par exemple, un courant de 15 ampères, actionnant une dynamo réceptrice, fonctionnant à 70 volts, serait susceptible de fournir un travail de $\frac{70 \times 15}{9,808} = 106$ kilogrammètres par seconde, ou $\frac{106}{75} = 1,4$ cheval-vapeur, en admettant un rendement de 100 o/o pour l'appareil.

Comme on le voit, le produit E I est proportionnel au *travail* susceptible d'être fourni par un courant *dans une seconde*, ou à la *puissance* du courant. On a été conduit, pour exprimer la puissance d'un courant, à créer une nouvelle unité.

32. Unité de puissance. — D'après ce qui vient d'être dit, l'unité de puissance est le produit d'un volt par un ampère. On l'appelle *watt* ou quelquefois *volt-ampère*. Un courant de I ampères, sous une différence de potentiel de E volts, correspond à une puissance de EI watts, ce qui peut s'exprimer par la formule :

$$W = EI.$$

33. Unité de travail total. — On emploie encore une autre unité, lorsqu'il s'agit d'exprimer le travail total ab-

sorbé ou dépensé pendant un temps donné. Elle correspond, à un coefficient numérique près, à celle qui est souvent désignée dans les applications mécaniques sous le nom de cheval-heure. C'est le *watt-heure,* c'est-à-dire la quantité totale de travail fourni par un courant capable de développer une puissance de 1 watt et passant pendant une heure dans un circuit.

34. Multiples et sous-multiples des unités. — Les unités que nous avons indiquées sont souvent trop grandes ou trop petites dans les applications pratiques. On emploie alors leurs multiples ou sous-multiples décimaux, que l'on désigne, comme dans le système métrique, en faisant précéder le nom des unités fondamentales de l'un des préfixes suivants :

Déca	pour exprimer l'unité multipliée par	10
Hecto	id.	100 ou 10^2
Kilo	id.	1 000 ou 10^3
Myria	id.	10 000 ou 10^4
Méga	id.	1 000 000 ou 10^6
Déci	id.	$\frac{1}{10}$ ou 10^{-1}
Centi	id.	$\frac{1}{100}$ ou 10^{-2}
Milli	id	$\frac{1}{1\,000}$ ou 10^{-3}
Micro	id	$\frac{1}{1\,000\,000}$ ou 10^{-6}

Ainsi on dit un milliampère (un millième d'ampère), un hectowatt (cent watts), un kilowatt-heure (mille watts-heure), un microhm (un millionnième d'ohm), un mégohm (un million d'ohms), etc.

35. Piles. — Les piles électriques ne sont pas employées pour l'éclairage, sauf dans quelques cas insignifiants ;

aussi ne nous y arrêterons-nous pas ; tous les traités d'électricité et les catalogues des constructeurs donnent d'ailleurs les renseignements utiles sur leur force électromotrice et leur résistance intérieure.

La force électromotrice d'une pile, comme celle qui est due à toute action chimique, prend naissance au point où se produit cette réaction. Ainsi, dans une pile Bunsen, elle se développe à la surface du zinc qui est attaquée par l'acide sulfurique. Elle dépend uniquement de la nature même de la réaction chimique et n'a aucun rapport avec les dimensions ou le poids des matières mises en jeu. Toutes les piles de même composition auront donc la même force électromotrice, quel que soit leur module.

Au contraire, la quantité d'électricité qui est susceptible d'être fournie par un élément dépend seulement des dimensions de cet élément, de sorte qu'une pile volumineuse pourra fournir un courant d'une intensité plus grande qu'une petite pile. Cela tient à ce que la résistance intérieure d'un élément varie généralement en sens inverse des surfaces chimiques actives qui le composent, et à ce que la fatigue d'une électrode, pour un même courant total, est d'autant plus faible que sa surface est plus grande.

Si l'on veut assimiler ces phénomènes à ceux que présente la chaleur, on peut remarquer, par exemple, qu'un corps fond toujours à la même température, quels que soient son poids et les circonstances extérieures. Par contre, il faudra une quantité de chaleur plus grande, ou un nombre de calories plus élevé pour fondre 1 kilogramme que pour fondre 1 gramme d'une même matière, bien que le point de fusion soit constant. Dans les deux cas, on constate la constance de la *température* calorifique ou électrique, et la variation de la *quantité* avec la masse des matières mises en action.

La seule question que nous traiterons au sujet des piles est l'examen de leurs modes d'association, car la manière d'opérer et les résultats obtenus sont identiques à ceux que l'on observe dans la réunion de plusieurs sources d'électricité quelconques.

36. Association de sources d'électricité. — L'association de plusieurs sources d'électricité peut se faire comme celle de réservoirs d'eau.

Supposons deux réservoirs fermés et étanches. Mettons l'un d'eux immédiatement au-dessus de l'autre et réunissons-les par un tuyau. Si l'on place au bas du réservoir inférieur une conduite d'eau, le liquide s'écoulera en vertu de la somme des pressions exercées par l'eau à la partie inférieure de chaque réservoir pris isolément.

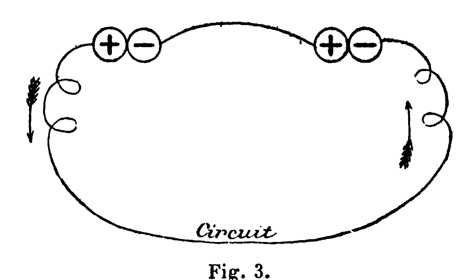


Fig. 3.

Mettons au contraire les réservoirs l'un à côté de l'autre, au même niveau, et réunissons-les par la base. La pression de l'eau dans le tuyau inférieur qui les relie sera la même que celle de chaque réservoir isolé, mais tout se passera comme si, au lieu de deux réservoirs, on en avait un seul d'une surface double, contenant une quantité d'eau double.

Le premier mode de réunion s'appelle association en

pression ou en *tension* ; le second, association en *surface* ou en *quantité*.

Il en est de même dans le cas de deux sources électriques. Pour réunir ces deux sources, on peut faire communiquer la borne positive de l'une avec la borne négative de l'autre, et relier les bornes extrêmes par un conducteur (fig. 3) : on obtiendra une pression ou force électromotrice résultante double de la force électromotrice obtenue avec une seule source (si les deux sources sont égales). On réalisera ainsi ce qu'on appelle l'association en *tension* ou en *série ;* c'est ce qu'exprimait le premier membre de la première équation de l'exemple précédent (nº 29) par l'application de la loi d'Ohm.

Si, au contraire, on fait communiquer ensemble les bornes positives d'une part et les bornes négatives de l'autre, en reliant les deux pôles extrêmes par un fil (fig. 4), la force électromotrice résultante ne sera pas plus élevée qu'au cas où elle serait engendrée par une seule source ; mais un calcul analogue à celui du nº 29 prouverait qu'en conservant les mêmes résistances dans les lignes, la quantité d'électricité débitée dans les conducteurs, ou l'intensité du courant, est double de celle qui passe lorsqu'il n'y a qu'une source. C'est ce qu'on appelle le groupement en *quantité* ou en *dérivation*.

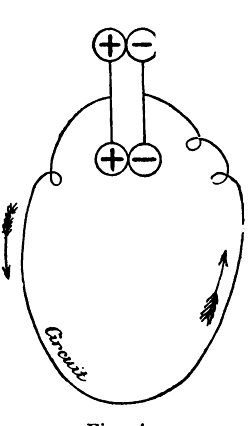


Fig. 4.

37. Dérivation, shunt. — On appelle *dérivation* tout circuit secondaire partant de deux points d'un conducteur

principal, et susceptible de former un circuit fermé sur la source d'électricité, en empruntant une portion du circuit principal. Exemple le fil *c d* (fig. 2) qui peut être considéré comme faisant partie du circuit fermé *c e f g h d c* est une dérivation. On l'appelle aussi quelquefois *shunt*.

DEUXIÈME PARTIE

Machines dynamo-électriques.

---

38. Description sommaire. — Les appareils producteurs d'électricité sont le plus généralement des *machines dynamo-électriques* ou *dynamos*.

Les machines produisent, suivant leur mode de construction, des courants continus ou des courants alternatifs. Nous ne nous occupons que des machines à *courants continus*, celles-ci étant presque toujours employées aujourd'hui dans les petites installations.

En principe, une *dynamo* se compose de deux électro-aimants voisins placés de telle sorte qu'ils présentent deux de leurs pôles de noms contraires en face l'un de l'autre. Entre ces deux pôles tourne un anneau formé d'une série de petites bobines d'induction disposées en cercle. Le fil des électro-aimants (généralement appelés *électros*) se nomme l'*inducteur*. L'ensemble des bobines d'induction constitue l'*induit* ou l'*armature*.

Par suite de sa rotation entre les pôles E des électros (fig. 5), les bobines de l'armature A sont traversées par des courants dont le sens est déterminé par les lois de l'induction. Les extrémités des fils de ces bobines sont reliées à une série de lames de cuivre isolées et disposées les unes à côté des autres de manière à former par leur réunion un

cylindre calé sur l'arbre de rotation de la dynamo. Ce cylindre C, par l'intermédiaire duquel on recueille tous les courants qui se développent dans l'armature, se nomme le *collecteur*. Il se produit sur le collecteur deux pôles fixes dans l'espace aux extrémités d'un même diamètre, et en reliant ces points par un fil, on obtient la force électromotrice maxima que peut produire la dynamo. Pratiquement, on applique sur chaque pôle du collecteur, au lieu d'un fil, un faisceau de fils appelé *balai*. Les balais B sont reliés par des petits conducteurs souples aux *bornes* de la dynamo. De ces deux bornes partent le fil positif et le fil négatif de la canalisation que l'on veut établir.

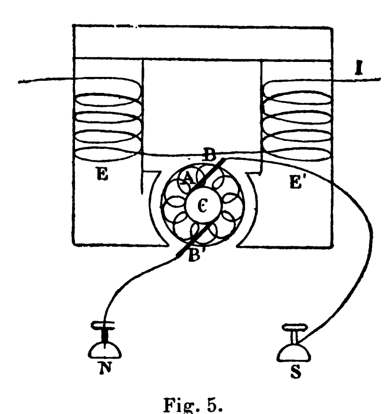


Fig. 5.
A armature ou induit. — BB' balais. — C collecteur. — EE' électros. — NS bornes.

On a adopté pour les dynamos beaucoup d'autres dispositions, mais le principe de leur fonctionnement reste le même.

39. **Dynamos à anneau et à tambour.** — Dans certaines dynamos, l'induit est formé par un cylindre creux ou par un tore composé de fils ou de lames de fer doux, autour duquel est enroulé le fil de cuivre des bobines. Le courant qui se développe dans ces bobines est ensuite transmis par le collecteur et les balais aux bornes de la machine. Les armatures présentant cette disposition sont appelées *induits en anneau* (fig. 6).

Dans d'autres cas, au contraire, l'induit se présente sous la forme d'un cylindre plein composé de lames de fer doux, et le fil de cuivre est enroulé sur toute la surface extérieure du cylindre. Les armatures ainsi construites sont appelées *induits en tambour* (fig. 7).

40. Dynamos multipolaires. — La plupart des petites dynamos à courant continu sont composées, comme nous venons de le dire, de deux électro-aimants et d'une armature qui tourne entre leurs pôles de noms contraires. Dans d'autres machines, plusieurs électro-aimants (toujours en nombre pair) sont disposés en cercle autour de l'armature, et l'induit tourne au centre de la couronne ainsi formée. Ces dynamos sont dites *multipolaires*.

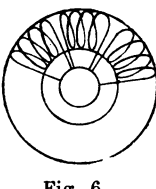


Fig. 6.

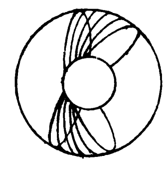


Fig. 7.

On a même construit des dynamos à un seul pôle ; elles sont appelées *unipolaires*.

Les dynamos ordinaires sont *bipolaires*.

Les propriétés des dynamos sont identiques, quel que soit leur mode de construction, que leur induit soit en anneau ou en tambour, qu'elles soient bipolaires ou multipolaires. Aussi, ne nous étendrons-nous pas sur cette question ; les détails de construction des différents systèmes de machines sont décrits minutieusement dans de nombreux traités auxquels nous renverrons le lecteur, car cette étude sortirait de notre cadre.

41. Machines magnéto-électriques. — A l'origine, avant l'invention des machines dynamo-électriques, on avait construit des appareils en se servant d'aimants permanents

au lieu d'électro-aimants pour produire l'induction dans le fil de l'armature. Ces machines, appelées *magnéto-électriques*, sont à peu près abandonnées aujourd'hui pour l'éclairage.

42. Excitation d'une dynamo. — Nous avons vu que le courant d'induction prend naissance dans l'armature par suite de la rotation de cet organe entre les pôles des électros. Pour que ces pôles des électros puissent se produire, il faut que les bobines de fil qui les entourent soient traversées par un courant ; on dit alors que la machine est *excitée*, et la façon dont on produit le courant de l'inducteur s'appelle le mode d'*excitation* de la dynamo.

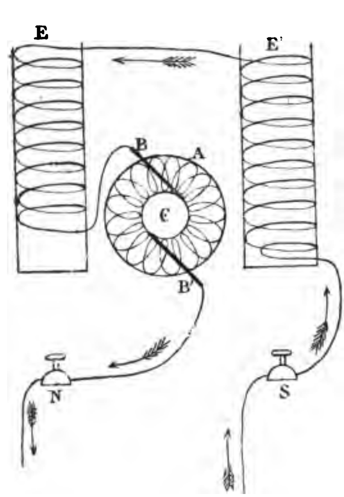


Fig. 8.
A armature. — BB' balais. — C collecteur. — EE' électros. — NS bornes.

43. Machines à excitatrice séparée. — Dans les installations très importantes, on emploie, pour exciter les électros, une dynamo spéciale appelée *excitatrice*. On peut de cette façon régler l'excitation et par suite la puissance de la machine, comme nous le verrons plus loin, avec une grande précision. On dit, dans ce cas, que la dynamo est une machine à *excitatrice séparée*.

44. Machines excitées en série. — On peut aussi obtenir l'excitation d'une dynamo en intercalant directement

les électros dans le circuit général du courant. C'est alors le courant lui-même qui produit les pôles des électros, d'où l'induction de l'armature. La figure 8 indique la disposition schématique des machines ainsi construites, appelées dynamos *excitées en série*. Le courant part de la borne N, revient à la borne S par le circuit, passe ensuite dans les électros E′ et E, puis par le balai B, entre dans le collecteur C, traverse l'armature A, sort du collecteur par le balai B′, et le circuit se ferme à la borne N.

45. Machines excitées en dérivation. — Au lieu de faire circuler tout le courant de la dynamo dans les électros, on peut n'en laisser passer qu'une partie. Pour cela, au lieu de former les bobines des électros par le prolongement du fil traversé par le courant de la dynamo, comme dans le cas précédent, on les construit au moyen d'un fil auxiliaire branché en *dérivation* sur le conducteur principal (nº 37). Cette dérivation s'appelle souvent le *shunt* de la dynamo. La figure 9 indique le schéma de la disposition d'une dynamo *excitée en dérivation*. Le courant principal part de la borne N, revient à la borne S, passe par le balai B′, traverse le collecteur C et l'armature A, sort par le balai B, et le circuit se ferme à la borne N. — Le circuit secondaire,

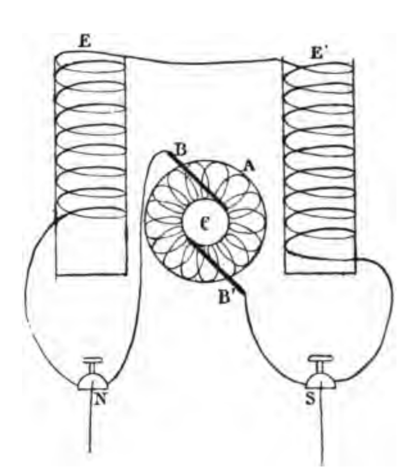


Fig. 9.
A armature. — BB′ balais. — C collectenr. — EE′ électros. — NS bornes.

formant le shunt ou la dérivation, part de la borne N, traverse les électros E et E′, revient à la borne S, et passe par le conducteur général pour se fermer sur la borne N.

46. Machines Compound. — Les dynamos excitées en série et en dérivation ont des propriétés différentes, que nous étudierons plus loin ; on a imaginé de construire des machines excitées à la fois en série et en dérivation ; on les appelle machines *compound ;* la figure 10 en indique la disposition schématique.

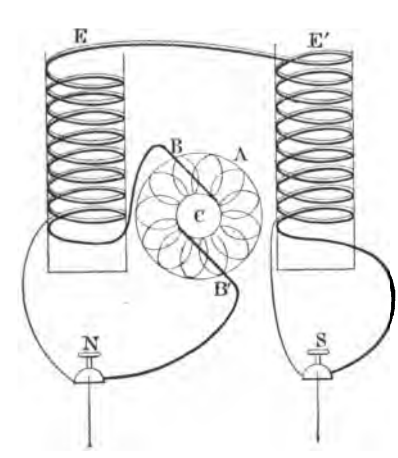


Fig. 10.

A armature. — BB′ balais. — C Collecteur. — EE′ électros. — NB′CBE′ES gros fil. — NE E′S fil fin.

Le courant principal part de la borne N, revient à la borne S, passe dans les électros, puis arrive au balai B, traverse l'armature A, sort du collecteur C par le balai B′ et se ferme sur la borne N. Le deuxième circuit, formant la dérivation ou le shunt, part de la borne N, passe dans les électros, et revient à la borne S.

Le fil de l'excitation en série est un *gros fil* ; le fil de l'excitation en dérivation est un *fil fin.*

47. Autres modes d'excitation. — Il existe encore d'autres modes mixtes d'excitation, mais ils sont peu employés dans les petites installations ; nous ne les examinerons pas.

48. Fonctionnement des dynamos. — Quel que soit le mode d'excitation, le principe du fonctionnement des dynamos à courant continu est toujours le même ; le courant de série ou de dérivation passant dans les électros produit à leur extrémité deux pôles magnétiques de noms contraires. Par suite de la rotation de l'armature entre ces deux pôles, il s'y développe par induction le courant qui circule dans le fil induit, et de là dans le circuit général.

On conçoit très facilement la continuité de ces phénomènes pendant le fonctionnement normal de la machine, les conducteurs agissant d'une façon permanente sur l'induit, et celui-ci réagissant sur les électros grâce au courant de dérivation ou au courant principal lui-même (dans les dynamos excitées en série). Mais il n'en est pas de même au moment de la mise en marche, lorsqu'il n'existe encore dans le circuit aucun courant susceptible d'aimanter les électros.

Voici alors ce qui se produit : les noyaux des électros sont généralement en acier, quelquefois en fonte ou en fer. Dans les conditions habituelles, il reste toujours dans leur masse, en vertu de la *force coercitive*, un peu d'aimantation. On dit alors que la machine est *amorcée*. Cette aimantation *rémanente* suffit à produire dans l'induit un faible courant d'induction ; le courant, recueilli dans le circuit, agit à son tour sur les électros qu'il aimante davantage ; ceux-ci réagissent plus vigoureusement sur l'induit, et ainsi de suite jusqu'au moment où l'équilibre est établi et où la force électromotrice atteint sa valeur habituelle. En pratique, il suffit, pour arriver à ce résultat, de quelques instants, au bout desquels la dynamo fonctionne à son allure normale.

49. Influence de la vitesse de rotation de la dynamo et de l'intensité du courant des électros sur la force élec-

tromotrice. — Lorsque le nombre de tours d'une dynamo augmente, toutes choses égales d'ailleurs, la force électromotrice développée augmente aussi.

Lorsque l'intensité du courant qui traverse les électros augmente, la force électromotrice de la dynamo augmente également.

Ces deux augmentations sont à peu près proportionnelles aux causes qui les ont fait naître, au moins pour des limites peu étendues en deçà et au delà des constantes ordinaires de la machine.

50. Propriétés des différentes machines. — Une dynamo est susceptible de développer entre ses bornes des différences de potentiel très variables, d'où résultent des courants d'intensités diverses pour une vitesse donnée. La force électromotrice et l'intensité maxima pour lesquelles une dynamo est construite sont appelées les *constantes* de la dynamo. Ainsi un constructeur indiquera sur ses tarifs qu'une certaine dynamo, à la vitesse de 1 800 tours, est capable de fournir un courant de 14 ampères, sous une différence de potentiel de 70 volts. Ce sont les limites maxima pour lesquelles la machine est établie.

Pour une vitesse déterminée d'une dynamo, la force électromotrice (mesurée aux bornes de la machine) et l'intensité varient d'après la résistance du circuit extérieur. Si l'on trace une courbe dans laquelle les abscisses représentent l'intensité et les ordonnées la force électromotrice, on peut se rendre compte du régime de marche de la machine. Cette courbe s'appelle la *caractéristique* de la dynamo.

La force électromotrice, l'intensité, et la résistance totale (c'est-à-dire la résistance du circuit plus une constante qui représente la résistance intérieure apparente de la machine) sont d'ailleurs liées entre elles par la loi d'Ohm (n° 22)

$$E = IR$$

Il en résulte que la résistance $R = \frac{E}{I}$ est représentée sur la caractéristique par la tangente trigonométrique de l'angle formé par l'axe des x et la droite qui joint l'origine au point de la courbe considéré (fig. 11).

51. Machines excitées en série. — Les machines excitées en série ont une caractéristique analogue à celle de la figure 11.

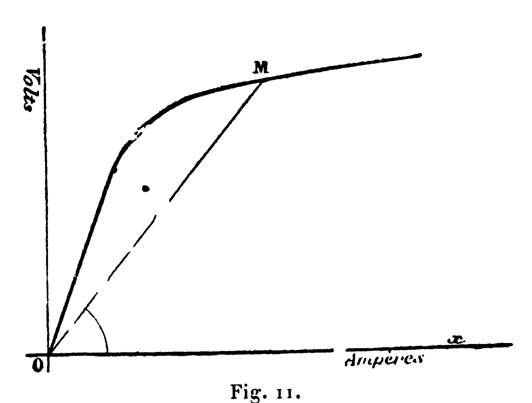
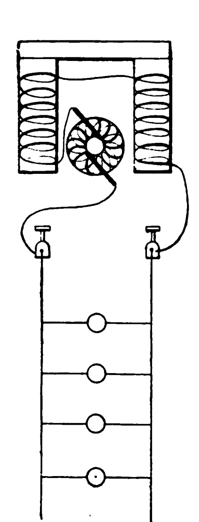


Fig. 11.

Lorsque la résistance extérieure est très grande, l'intensité est très faible, ainsi que la force électromotrice. Lorsque la résistance extérieure diminue, l'intensité augmente et la force électromotrice aussi ; la force électromotrice augmente d'abord plus vite que l'intensité, puis c'est l'inverse au bout d'un certain temps.

D'après cela on voit qu'il est impossible d'alimenter au moyen d'une dynamo excitée en série un éclairage établi suivant la disposition presque unanimement adoptée pour les petites installations, c'est-à-dire comportant un certain nombre de lampes en dérivation (fig. 12) ; si, en effet, le

régime étant une fois établi pour un certain nombre de lampes, on en allume une nouvelle, la résistance extérieure diminue (puisqu'on offre un débouché plus grand au courant) ; par suite, l'intensité et la force électromotrice augmentent, d'après ce que nous venons de voir ; ces conditions sont inadmissibles, car il est nécessaire de maintenir une différence de potentiel constante aux bornes des lampes, comme nous le verrons plus loin (n° 128). Si l'on tient à cette disposition, on peut absorber l'augmentation de force électromotrice par une résistance complémentaire intercalée dans le circuit ; mais cette résistance détruit en pure perte une partie du travail produit par la machine, laquelle est par suite mal utilisée.


Fig. 12.

Si, au contraire, on dispose les lampes en série comme l'indique la figure 13, l'intensité du courant qui circule dans la canalisation doit être constante (n° 6). La dynamo doit être construite de telle sorte qu'à cette intensité corresponde la force électromotrice maxima nécessaire à l'alimentation de toutes les lampes réunies.

Si l'on éteint une lampe, il faut alors la remplacer par une résistance correspondante, absorbant une force électromotrice égale à celle du foyer supprimé. Il en résulte encore une perte de travail, comme dans le cas que nous avons examiné précédemment.

Les machines excitées en série ne conviennent donc généralement que pour une installation comprenant un nombre fixe de lampes, toutes allumées à la fois. C'est une condition qui se présente assez rarement dans la pratique, surtout pour l'éclairage à incandescence.

Elles ont encore un autre inconvénient, celui de se désamorcer facilement dans certaines circonstances, comme nous le verrons en étudiant les machines compound (nº 54). Elles sont en général peu employées en France dans les installations ordinaires.

52. Machines excitées en dérivation. — Les machines excitées en dérivation ont une caractéristique analogue à celle de la figure 14.

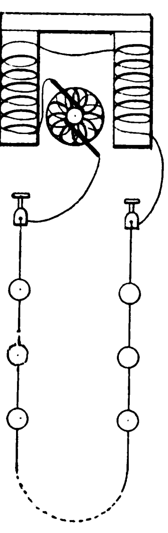


Fig. 13.

Lorsque la résistance extérieure diminue, l'intensité du courant augmente et la force électromotrice diminue.

Si une pareille dynamo alimente un éclairage comprenant un certain nombre de lampes disposées en dérivation, lorsqu'on allume une nouvelle lampe, la résistance extérieure diminue, l'intensité augmente, mais la force électromotrice s'abaisse. Il semble donc au premier abord que ce genre de machines ne convient pas à l'éclairage direct. Cependant, on voit par la forme de la courbe que la force électromotrice diminue très peu à partir d'une certaine résistance. On s'arrange en général pour que cette partie de la courbe presque horizontale soit seule utilisée dans les limites de l'installation.

De plus, il existe un procédé qui permet de régler exactement à la valeur voulue la force électromotrice des machines excitées en dérivation, quelles que soient la résistance extérieure et l'intensité du courant : on intercale dans le shunt de la dynamo un rhéostat, appelé *rhéostat d'excitation*, permettant d'augmenter ou de diminuer la

résistance de ce shunt. Supposons que la dynamo produise une force électromotrice de 70 volts, et que la résistance du shunt soit de 100 ohms. L'intensité du courant qui passe dans la dérivation, d'après la loi d'Ohm (nº 22), sera

$$I = \frac{E}{R} = \frac{70}{100} = 0,70 \text{ ampère.}$$

Intercalons dans le shunt une résistance de 20 ohms. L'intensité du courant de dérivation ne sera plus que de

$$\frac{70}{120} = 0,58 \text{ ampère.}$$

Il en résulte que la force électromotrice de la dynamo di-

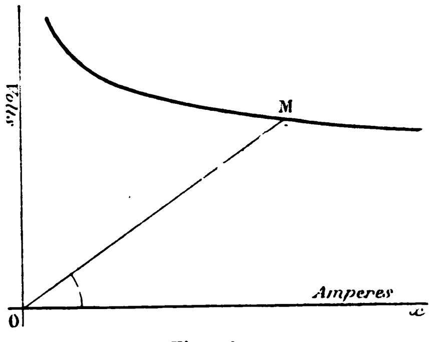


Fig. 14.

minuera sensiblement dans les mêmes proportions, comme nous l'avons vu au nº 49.

On peut, de cette façon, grâce au rhéostat d'excitation, en augmentant la résistance de la dérivation lorsque la résistance extérieure s'élève, rendre constante la force électromotrice de la machine, puisque l'augmentation de résistance extérieure tend à élever la force électromotrice et que l'augmentation de résistance de la dérivation tend à l'abaisser.

Cette manœuvre permet d'obtenir un éclairage bien régulier, même au cas où l'on éteint presque toutes les lampes de la canalisation, et où la force électromotrice atteindrait, sans cet artifice, une valeur très élevée, comme l'indique la figure 14.

53. Machines compound. — Les machines compound ont pour caractéristique une ligne sensiblement droite et à peu près horizontale ; l'enroulement en dérivation tend en effet à augmenter la force électromotrice avec la résistance extérieure ; l'enroulement en série tend au contraire à la diminuer. Le constructeur calcule l'importance de ces deux enroulements de manière que la force électromotrice développée par la dynamo soit la même lorsque l'intensité du courant du circuit général atteint sa plus grande et sa plus petite valeur. Entre ces deux limites, la force électromotrice reste à peu près constante lorsque l'intensité varie.

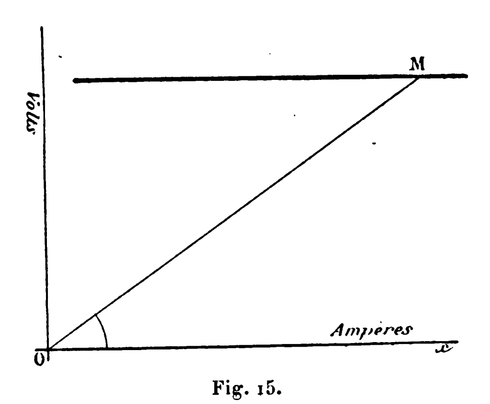


Fig. 15.

Les machines compound paraissent donc les plus avantageuses pour l'éclairage. Elles sont en effet très commodes pour l'éclairage direct, surtout lorsquelles sont bien

réglées ; mais cela n'arrive pas toujours, parce que le *compoundage* est établi par le constructeur pour une vitesse déterminée, et il n'existe plus pour une vitesse plus grande ou plus petite.

54. Désamorçage, changement de polarité. — Lorsqu'il s'agit de charger des accumulateurs, les machines compound ont le désavantage d'être susceptibles de se désamorcer, comme les machines excitées en série, pour les raisons suivantes :

Lorsqu'on arrête une dynamo, nous avons vu (nº 48) que le magnétisme rémanent des électros permet à la machine de s'amorcer au moment de la mise en marche. Mais lorsque, pour une cause accidentelle quelconque, il se produit dans les électros des machines excitées en série un courant de sens inverse à celui que fournit normalement la dynamo, ce courant développe dans les électros des pôles de noms contraires aux pôles habituels, et lorsqu'on remet la dynamo en marche, le sens du courant développé dans le circuit est inverse de celui qui est obtenu en temps ordinaire. On dit alors que la *polarité de la dynamo est renversée*. Ce renversement peut avoir de graves inconvénients, lorsqu'on charge des accumulateurs ou lorsqu'on fait des décompositions électrolytiques. Il est indispensable de l'éviter : nous en verrons plus loin le moyen (nº 71).

Bien que ce renversement de polarité se produise presque instantanément, il peut arriver que le courant qui tend à passer en sens inverse dans les électros arrête son action au moment précis du changement de signe des pôles ; l'aimantation des électros est alors complètement détruite et la dynamo ne produit plus aucun courant lorsqu'on la fait tourner. On dit alors que la machine est *désamorcée*.

55. Redressement des pôles, réamorçage. — Il faut

s'efforcer d'empêcher que ces accidents n'arrivent ; mais lorsqu'ils se produisent malgré toutes les précautions que l'on a pu prendre, il est assez facile d'y remédier.

Dès qu'on s'aperçoit que la polarité des électros est renversée, il faut commencer par arrêter la dynamo. On procède ensuite à l'opération inverse de celle qui a produit le renversement des pôles, en attachant à la borne positive du tableau de distribution (nº 178) l'extrémité du fil négatif du courant de retour, et réciproquement. On fait ainsi passer dans les électros, pendant quelques instants, à l'aide d'un commutateur, un courant circulant en sens inverse de celui qui les a dépolarisés, et la dynamo se désamorce.

Lorsque la machine est désamorcée, on la remet en marche, et l'on fait de nouveau passer, à différentes reprises et pendant quelques moments, le même courant inverse dans les électros, jusqu'au moment où un courant commence à se manifester dans le circuit. On voit alors le voltage augmenter graduellement dans le sens voulu, et la machine reprend son état normal. Ce résultat obtenu, il faut naturellement se hâter de rattacher les fils à leurs bornes respectives, avant de rétablir la communication avec le circuit général.

Toutes ces indications de sens du courant sont fournies par la lecture du voltmètre et de l'ampèremètre qui doivent faire partie de toute bonne installation (nº 68).

56. Avantages des machines excitées en dérivation. — L'accident du renversement des pôles peut arriver avec les machines en série ou compound, lorsque le courant se renverse, puisque c'est le courant ou une fraction du courant lui-même qui, circulant dans le fil des électros, en détermine la polarité.

Au contraire, dans les machines excitées en dérivation, le courant des électros ne peut se renverser, ainsi qu'on

peut s'en rendre compte par l'examen de la figure schématique ci-contre.

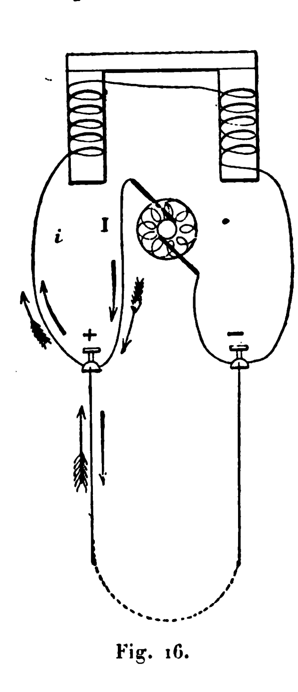


Fig. 16.

En effet, dans la marche normale, les flèches simples marquent le sens des courants, et l'application de la loi de Kirchhoff (nº 23) à la borne positive de la dynamo fournit l'équation :

$$I - i - I' = 0$$

ou

$$i = I - I'.$$

I' est plus petit que I, puisque ce n'est qu'une fraction du courant total engendré par l'induit, l'autre partie étant envoyée dans le shunt pour produire l'excitation des électros ; donc i est positif.

Supposons qu'une force contre-électromotrice produise à un moment donné dans le circuit un courant de sens contraire à celui qui le traverse en temps ordinaire ; la loi de Kirchhoff nous donnera, en considérant le sens des courants indiqués par des flèches pennées :

$$I + I' - i = 0$$

ou

$$i = I + I'.$$

i étant égal à la somme de deux quantités positives, sera encore forcément positif, c'est-à-dire que le courant passera dans le même sens que tout à l'heure.

Il en résulte que dans les machines excitées en dérivation, quel que soit le sens du courant qui passe dans le

circuit extérieur, la polarité des électros ne peut se renverser. Cet avantage est tel que l'emploi de ce genre de machines est tout indiqué lorsqu'on craint pour une cause ou une autre les courants de retour, par exemple pour la charge des accumulateurs. Bien qu'on puisse remédier, en

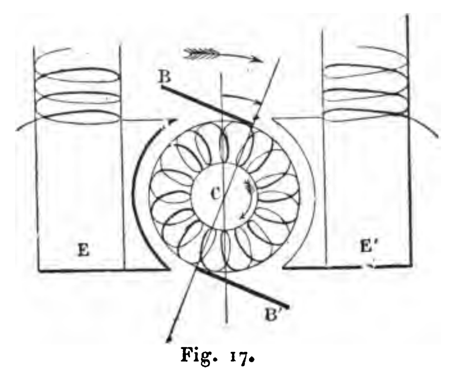


Fig. 17.

effet, aux accidents qui proviennent du renversement des pôles dans les machines compound ou excitées en série, on subit des pertes de temps notables lorsqu'il s'agit ensuite de rétablir les choses dans leur état primitif, et, ce qui est plus grave, on est susceptible de détériorer des bains de galvanoplastie, ou des accumulateurs, si un défaut de surveillance permet à la dynamo de fournir un courant de sens contraire au courant normal pendant un temps appréciable.

57. Calage des balais. — Les balais doivent recueillir le courant aux bornes réelles du collecteur. Si l'on considère le plan méridien du collecteur perpendiculaire à la ligne des pôles des électros, la droite qui joint le point de contact théorique des balais forme avec ce plan un certain angle dirigé dans le sens du mouvement de l'induit, comme l'indique la figure 17. Mais cet angle n'est pas fixe ; il varie légèrement avec la vitesse de la dynamo et avec l'intensité du courant qu'elle fournit.

Il est nécessaire, pour le bon fonctionnement des machines, que les balais soient toujours à la place théorique qu'ils doivent occuper. Pour y arriver, il faut pouvoir les déplacer pendant la marche de la dynamo, et, à cet effet, ils sont fixés sur un cadre, mobile autour du collecteur, et muni d'un levier qu'on peut manœuvrer en marche sans danger.

La position la plus favorable est obtenue lorsqu'il se produit le minimum d'étincelles entre le collecteur et les balais. On y arrive par tâtonnement en poussant légèrement en avant ou en arrière le levier de commande du cadre mobile sur lequel les balais sont fixés.

Une machine bien réglée ne doit pas donner d'étincelles au collecteur ; pour les éviter, il est nécessaire de bien surveiller les balais pendant la marche, de manière à rectifier leur position si l'on constate le léger sifflement caractéristique du mauvais calage de ces organes.

58. Variations de la force électromotrice d'une dynamo et de l'intensité du courant. — On peut faire produire à une dynamo donnée une force électromotrice plus élevée que celle pour laquelle elle est construite, au moins dans des limites peu étendues, sans inconvénient pour la conservation de la machine : il suffit pour cela de la faire tourner plus vite (nº 49). Les seules actions nuisibles qui peuvent se produire dans ce cas sont analogues à celles qui se manifestent dans le fonctionnement de tout appareil mécanique qu'on fait marcher à une vitesse exagérée.

Au contraire, il est indispensable de ne pas demander à une dynamo un courant plus intense que celui qui est prescrit par le constructeur. La section des fils de l'induit est calculée en effet pour le courant d'intensité maxima indiquée dans les tarifs. Si l'on fait produire à la dynamo un courant plus intense (en diminuant la résistance extérieure), on provoque un échauffement considérable dans les fils de

l'induit. L'élévation de température peut brûler le vernis isolant qui les recouvre et quelquefois faire fondre les fils eux-mêmes. Dans l'un et l'autre cas, la dynamo est mise hors de service, et il faut remplacer l'armature, ce qui est toujours une réparation assez coûteuse.

Pour éviter cet accident, il est indispensable d'intercaler dans le circuit, près des bornes de la dynamo, un *coupe-circuit* à fil fusible, fondant lorsque l'intensité dépasse celle qui est susceptible de détériorer la machine. On est assuré de cette façon de ne jamais produire un courant trop intense.

On se rend facilement compte de l'échauffement d'une machine en mettant la main sur les inducteurs. Lorsque leur température atteint plus de 40 ou 50°, c'est que l'intensité dépasse sa limite maxima.

59. Installation d'une dynamo. — Lorsqu'on installe une dynamo, il faut placer l'arbre de la machine bien parallèlement à l'arbre de commande, de manière à éviter les frottements, qui deviennent tout de suite très importants pour de grandes vitesses.

Il est en outre nécessaire de prendre toutes les précautions qu'il est d'usage d'employer lorsqu'on actionne une machine à grande vitesse ; la courroie ne doit pas présenter de saillie intérieure ; pour cela, on peut coller ses deux extrémités après les avoir amincies en sifflet, ou bien les replier extérieurement et les attacher avec un système quelconque d'agrafes ou de boulons. Elle ne doit être ni trop tendue, ce qui augmenterait les frottements, ni trop lâche, ce qui la ferait patiner en produisant des ralentissements dans la vitesse de la dynamo, et par suite des variations dans l'intensité de l'éclairage. Aussi faut-il lui donner des dimensions suffisantes pour lui permettre de conduire facilement la machine.

60. Section des courroies de commande. — La section d'une courroie de commande d'une dynamo peut être déterminée d'après la formule suivante :

$$q = \frac{300\ EI}{nD}$$

en donnant aux lettres la valeur indiquée ci-dessous :

q section de la courroie en centimètres carrés.

E force électromotrice maxima de la dynamo en volts.

I intensité maxima du courant en ampères.

n nombre de tours de la dynamo par minute.

D diamètre de la poulie de la dynamo en millimètres.

Par exemple, la courroie de commande d'une dynamo de 110 volts et 20 ampères tournant à 1300 tours au moyen d'une poulie de 130 millimètres de diamètre devra avoir une section égale à

$$q = \frac{300 \times 110 \times 20}{1300 \times 130} = 3{,}90 \text{ centimètres carrés.}$$

Si la courroie a une épaisseur de 5^{mm}, elle devra avoir une largeur au moins égale à 78 millimètres, soit 8 centimètres.

61. Cadre de scellement. — Il est bon de ne pas sceller directement la dynamo sur le massif de fondation, mais de la faire reposer sur un cadre à rainures en fonte, qui est alors scellé dans une pierre. Des boulons prisonniers permettent de fixer la dynamo à ce cadre et de l'éloigner légèrement de la transmission de commande, quand la courroie se détend. Cette disposition, très commode, permet de remédier à de faibles allongements de la courroie, tandis qu'on ne peut la raccourcir aux attaches que pour en couper un morceau d'une certaine longueur.

62. Vitesse d'une dynamo. — Il est avantageux de donner à la machine une vitesse un peu supérieure à celle qui est indiquée par le constructeur, de manière à obtenir une force électromotrice un peu plus élevée que celle dont on a besoin. Cette disposition est souvent utile, par exemple si la ligne qu'on établit occasionne une perte de charge un peu plus forte que celle sur laquelle on comptait, ou bien si l'on désire charger un accumulateur ou deux en plus de ceux que peut alimenter la machine en temps normal, ou dans d'autres cas analogues. Comme nous l'avons vu, il n'en résulte aucun inconvénient pour la dynamo.

Il est absolument indispensable pour la fixité de l'éclairage, d'assurer une grande régularité à la vitesse de la dynamo. Les machines à vapeur sur lesquelles elles sont attelées doivent être munies de très bons régulateurs ; lorsque les dynamos sont placées dans un atelier où le travail est peu régulier et où les changements de vitesse sont à craindre, il est utile d'employer un volant puissant pour atténuer les effets de ces variations. Bien entendu, les volants ne doivent pas être placés sur les arbres de commande directs des dynamos, qui tournent à de trop grandes vitesses, mais sur les transmissions intermédiaires.

Il en est de même dans le cas de la commande d'une dynamo par un moteur à gaz. La régulation d'un moteur à gaz se fait en supprimant l'admission du gaz pendant un ou plusieurs tours, lorsque la vitesse augmente. Pendant ce temps, aucun travail moteur n'étant produit, la vitesse tombe brusquement. Dans les moteurs à vapeur, au contraire, le régulateur agit en étranglant la vapeur dans la conduite d'admission, ou en modifiant la détente, de sorte que le changement de vitesse se fait insensiblement.

Le seul moyen d'éviter les à-coups dans les moteurs à

gaz consiste dans l'emploi de forts volants. Il est bon aussi de ne pas trop tendre la courroie qui commande la dynamo, pour permettre à l'élasticité du cuir de contribuer dans une certaine mesure à la régulation de la vitesse.

On construit aujourd'hui des moteurs à gaz conjugués, à deux cylindres, spécialement en vue de leurs applications à la lumière électrique. Ces machines ont une marche plus régulière que les moteurs à gaz ordinaires, à un seul cylindre, dans lesquels la pression résultant de l'explosion du gaz n'agit sur le piston que pendant un demi-tour sur un ou même sur deux tours. Les moteurs à gaz à deux cylindres donnent de meilleurs résultats que les autres; mais, même si on les emploie, il est nécessaire de prendre les précautions indiquées ci-dessus pour assurer la régularité de la transmission du mouvement.

63. Rhéostats. — Il est toujours utile d'intercaler des rhéostats dans le shunt d'une dynamo, et dans la ligne formée par les conducteurs principaux. Ces rhéostats doivent présenter une résistance suffisante pour que l'intensité du courant puisse être ramenée à sa plus faible valeur utilisable dans l'installation spéciale que l'on a en vue, quelles que soient les conditions de résistance du circuit extérieur.

64. Réglage des balais. — Les fils des balais doivent être tous parallèles, et leur extrémité coupée bien nettement. On doit régler les ressorts de manière que le faisceau de fils s'épanouisse en appuyant légèrement, sans forcer, sur le collecteur. Les extrémités des balais doivent s'appliquer en deux points du collecteur diamétralement opposés. Il est commode de donner sur la tranche du collecteur deux coups de pointeau aux extrémités d'un même diamètre ; lorsqu'on dérange les balais, pour une cause

ou une autre, on les règle ensuite sans tâtonnement en les arrêtant aux deux points de repère ainsi marqués.

La longueur des balais doit être telle que chacun d'eux touche un peu plus d'une lame du collecteur. Au bout d'un certain temps de marche, les balais s'usent rapidement et leur partie inférieure prend la courbure du collecteur, de sorte que les balais appuient sur plusieurs lames à la fois. On détruit de cette façon une partie du courant de l'induit en mettant une ou plusieurs spires en court-circuit, et le voltage diminue sensiblement. Lorsqu'on s'en aperçoit, il faut retirer les balais, les couper franchement (ou les retourner si on ne l'a pas déjà fait) et les replacer ensuite en les réglant avec soin.

65. Entretien d'une dynamo. — Lorsqu'une machine est en marche, il faut régler le calage des balais de manière à produire le minimum d'étincelles (n° 57), sans s'occuper du voltage.

Il arrive quelquefois, dans ces conditions, que la force électromotrice baisse au-dessous de celle que la machine peut produire, même lorsqu'on élimine complètement les rhéostats de la dérivation et du circuit. Cela peut tenir soit à une diminution de vitesse de la dynamo, soit au mauvais réglage ou à l'usure des balais. En vérifiant si les courroies sont bien tendues et si les ressorts des balais sont bien réglés, on arrive facilement à remettre les choses en état.

La surface du collecteur doit être toujours aussi lisse que possible ; si en effet une strie commence à se former, il se produit une étincelle à cet endroit, et la strie s'accentue de plus en plus. Pour l'éviter, il faut que les balais soient toujours très bien entretenus, avec des fils bien parallèles ; on doit passer aussi tous les jours, à deux ou trois reprises, un morceau de fine toile d'émeri sur le collecteur pour le polir pendant la marche,

Afin de mieux assurer le contact parfait entre l'extrémité du balai et la surface du collecteur, dans le but d'éviter l'usure de cette pièce en même temps que la production d'étincelles, un grand nombre de constructeurs remplacent les balais en fil de cuivre par une série de lames minces parallèles, ou par une feuille de toile fine de cuivre rouge repliée un grand nombre de fois sur elle-même, ou encore par un bloc de charbon. Dans la plupart des dynamos puissantes, et surtout dans celles qui sont soumises à de fréquentes variations de charge, les balais sont en charbon.

Malgré toutes les précautions, le collecteur finit toujours par s'user et se rayer; lorsqu'il s'y est produit des stries trop profondes, il faut démonter l'arbre de la dynamo, et rectifier le collecteur sur le tour. Cette opération ne présente aucune difficulté : il faut seulement avoir soin, après le finissage du tour, d'enlever les bavures que l'outil a pu laisser entre les lames du collecteur, sur le vernis isolant qui les sépare.

Enfin les paliers de l'arbre de la dynamo doivent être graissés avec beaucoup de soin, comme ceux de tout organe qui marche à grande vitesse.

66. Rendement des dynamos. — Le rendement d'une dynamo est le rapport entre le travail électrique que l'on recueille aux bornes de la machine et le travail mécanique qu'il est nécessaire de dépenser pour la faire tourner.

Nous avons vu (nº 31) que le travail mécanique correspondant à l'emploi d'un courant de E volts et I ampères est égal à

$$\frac{EI}{g} \text{ kilogrammètres, ou à } \frac{EI}{g \times 75} \text{ chevaux-vapeur.}$$

Il en résulte que si l'on désigne par N le nombre de chevaux absorbés par une dynamo, le rendement *r* de cet ap-

pareil est exprimé par le rapport

$$r = \frac{EI}{75g} : N.$$

En pratique, le rendement des dynamos varie de 80 à 90 o/o suivant le soin avec lequel elles sont construites, les dispositions qu'elles présentent et la qualité des matériaux qui les composent. Le prix d'une dynamo est d'ailleurs relativement d'autant plus élevé que son rendement est plus fort. En tout cas, dans un projet d'installation, il ne faut pas compter sur un rendement supérieur à 80 o/o.

Pour une même dynamo, son rendement est d'autant plus élevé qu'elle est mieux utilisée, c'est-à-dire que la force électromotrice qu'elle développe et l'intensité du courant qu'elle produit se rapprochent plus des données en vue desquelles elle est construite.

67. Exemple. — On demande quelle puissance sera absorbée par une dynamo de 110 volts et 20 ampères.

Le travail exprimé en chevaux, correspondant à un tel courant, sera égal à

$$\frac{EI}{75g} = \frac{110 \times 20}{75 \times 9,808} = 3 \text{ chevaux.}$$

En admettant un rendement de 80 °/°, la puissance absorbée par la dynamo sera égale à $\frac{3 \times 100}{80} = 3,75$ chevaux.

68. Voltmètres, ampèremètres. — La différence de potentiel qui existe entre deux points peut se mesurer immédiatement avec un appareil appelé *voltmètre*, et l'intensité d'un courant, avec un *ampèremètre*. Il est indispensable, près de toute dynamo, d'avoir un voltmètre et un ampèremètre, afin de se rendre compte des conditions de la marche de la machine.

Le voltmètre se place en dérivation entre les deux points du circuit dont on a intérêt à mesurer la différence de potentiel (fig. 18). Cet appareil est généralement installé sur le tableau de distribution, car la canalisation est calculée de telle sorte que la différence de potentiel aux bornes des

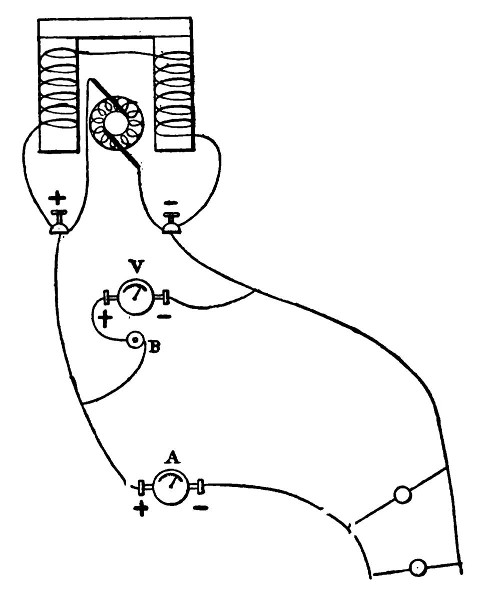


Fig. 18.

A Ampèremètre. — V Voltmètre. — B Bouton du voltmètre.

lampes soit fonction de celle que l'on mesure au tableau de distribution. Mais il peut n'en être pas ainsi, et dans ce cas il est nécessaire de relier le voltmètre soit aux bornes mêmes des lampes, soit aux points où la différence de potentiel doit avoir une valeur déterminée.

En général, il ne faut pas laisser passer le courant longtemps dans le voltmètre : cet appareil est construit avec un

fil très fin qui présente une très grande résistance : il s'échauffe et se détériore lorsqu'on y fait passer un courant pendant un temps un peu long ; généralement, on place en un point quelconque de la dérivation du voltmètre un bouton de contact sur lequel on appuie un instant chaque fois que l'on veut faire une lecture.

L'ampèremètre, au contraire, appareil de faible résistance, s'intercale dans le circuit, et son aiguille indique constamment l'intensité du courant qui le traverse.

Cette règle n'est pas absolue : il existe des voltmètres qui peuvent rester en circuit sans inconvénient, mais alors cette propriété exceptionnelle est nettement spécifiée par le constructeur.

Pour installer un voltmètre ou un ampèremètre, il faut faire communiquer la borne + avec le fil positif et la borne — avec le fil négatif, sans quoi l'aiguille marche dans le sens opposé à la graduation. Les indications de ces appareils permettent par suite de voir si le courant circule dans le circuit dans le sens convenable.

69. Remarque. — Au bout d'un certain temps d'usage, les voltmètres et les ampèremètres fournissent des indications trop fortes. Cela tient à la façon dont ils sont construits. Ils se composent, en général, d'un léger barreau de fer doux qui peut osciller dans une petite bobine de fil de cuivre. Ce barreau est solidaire de l'aiguille qui se meut sur la graduation de l'appareil. Lorsque le courant passe, le barreau de fer s'aimante et tend à se mettre en croix avec sa position primitive. L'appareil ainsi construit serait trop sensible et ne pourrait pas être gradué. Pour arriver à limiter les déviations de l'aiguille, on place la bobine et le barreau entre les pôles d'un aimant directeur dont l'action a pour but de contrarier celle de la bobine, de sorte que le barreau est soumis à deux actions contraires, dont

l'une (celle de l'aimant directeur) reste constante et l'autre (celle de la bobine) varie avec le courant : il peut donc prendre une position d'équilibre suivant la valeur de ce dernier facteur. L'angle dont dévie le barreau est d'autant plus élevé que l'action de la bobine est elle-même plus forte par rapport à celle de l'aimant directeur.

Lorsque le voltmètre est très ancien, ou quelquefois lorsqu'il a été soumis fortuitement à l'action de pièces métalliques importantes, l'aimantation de l'aimant directeur diminue ; l'action de la bobine sur le barreau de fer doux prend donc par rapport à celle de l'aimant permanent, et pour une même valeur du courant, une importance relative plus grande qu'au moment où l'appareil a été gradué ; la déviation résultante du barreau de fer doux est alors plus élevée pour un même courant, et par suite les indications de l'appareil sont également plus fortes.

Lorsqu'on s'en aperçoit, il est nécessaire de le faire regraduer chez le constructeur : c'est une opération facile et peu coûteuse.

Il existe bien des voltmètres et des ampèremètres construits d'après d'autres principes, mais ils sont peu employés dans la pratique pour les petites installations à courants continus.

70. Compteurs d'électricité. — Les compteurs sont des appareils servant à mesurer l'énergie électrique utilisée dans un circuit. Ils se composent en général d'un mécanisme d'horlogerie qui peut être mis en marche par un index fixé à un barreau de fer doux ou à une bobine d'induction. L'index, animé d'un mouvement pendulaire, est susceptible d'être attiré par un électro-aimant dans lequel passe le courant à mesurer. L'attraction produite est plus ou moins vive suivant l'intensité du courant et la différence de potentiel aux bornes de l'appareil. Les oscillations de

l'index, combinées avec le mouvement de l'appareil d'horlogerie, sont inscrites sur un cadran ; et, suivant la disposition adoptée pour les bobines, le compteur enregistre le travail total produit par le courant, c'est-à-dire les *watts-heure*, ou seulement la quantité d'électricité, c'est-à-dire les *coulombs,* lorsque la distribution est à potentiel constant. Dans le premier cas, l'appareil s'appelle un *watts-heure-mètre,* et dans le second cas un *coulombs-mètre.*

71. Disjoncteurs automatiques. — Nous avons vu (nº 54) que dans les machines excitées en série ou compound, un changement dans le sens du courant renverse la polarité des électros. Lorsque cet accident est à craindre, il faut placer dans la ligne un appareil appelé *disjoncteur* ou *coupe-circuit automatique.* Il se compose d'un levier qui s'abaisse sur l'armature d'un électro-aimant intercalé dans le circuit, et qui le ferme en établissant un contact dans cette position. Lorsque le courant passe et qu'on appuie sur le levier, celui-ci reste ensuite maintenu par l'attraction de l'électro-aimant; mais si le courant s'interrompt, un ressort antagoniste coupe le circuit en rappelant le levier, lequel reste levé tant qu'on n'exerce pas une nouvelle pression sur lui.

Le principe du fonctionnement de l'appareil est basé sur cette remarque, que le courant étant établi dans un sens ne peut se renverser sans s'annuler. Au moment où il passe par zéro, et même un peu avant, le ressort détache le levier, et en rompant le contact, empêche le courant de passer en sens inverse.

Pour rétablir le courant dans le bon sens, il suffit d'appuyer sur le levier, mais il faut seulement le faire quand on est bien certain que la cause qui a produit le renversement du courant a disparu. Lorsqu'on hésite, il faut suivre les indications d'un voltmètre ou d'un galvanomè-

tre mis en communication avec le circuit, ou employer certaines dispositions spéciales dont nous verrons un exemple plus loin (nº 174). Si l'on appuyait en effet sur le levier sans être sûr que le courant repassera dans le sens voulu, le contact se rétablirait également si le courant circulait en sens inverse, puisque le disjoncteur ne coupe le circuit qu'au moment où le courant s'annule, et non pas lorsqu'il circule dans le sens opposé au sens normal.

72. Disjoncteurs-conjoncteurs. — Il existe des appareils appelés *disjoncteurs-conjoncteurs* qui ne laissent passer le courant que dans un sens déterminé, coupant le circuit quant le courant suit une direction inverse et le rétablissant quand il reprend le sens convenable. Mais ces appareils, d'un prix plus élevé que les disjoncteurs ordinaires, sont d'une construction moins robuste et leur fonctionnement n'est pas toujours absolument régulier. Dans la majorité des cas, un disjoncteur suffit, surtout si l'on a soin de le placer sous le contrôle immédiat et à portée de la main de l'agent qui conduit les dynamos ou qui surveille une partie importante de l'installation.

73. Accouplement des dynamos. — Lorsqu'on possède une installation d'éclairage et qu'on veut lui donner plus d'importance, si l'on utilise déjà la dynamo à son maximum de débit, il est nécessaire d'acquérir une deuxième dynamo pour l'adjoindre à la première. Dans la plupart des cas, il faut établir une canalisation spéciale pour cette nouvelle machine, le diamètre des fils conducteurs n'étant en général pas assez fort pour livrer passage à un courant d'une intensité plus élevée que celle pour laquelle ils ont été installés. Si, au contraire, on reconnaît d'après les indications développées plus loin, dans le chapître qui traite des installations, que les conducteurs prin-

cipaux partant de la machine sont suffisants, il peut être avantageux d'associer les deux machines afin de réaliser une économie dans l'emploi des fils conducteurs. Cet accouplement exige certaines précautions.

74. Machines excitées en série. — Lorsque deux machines excitées en série sont établies de manière à produire un courant de même intensité, il n'y a aucun incon-

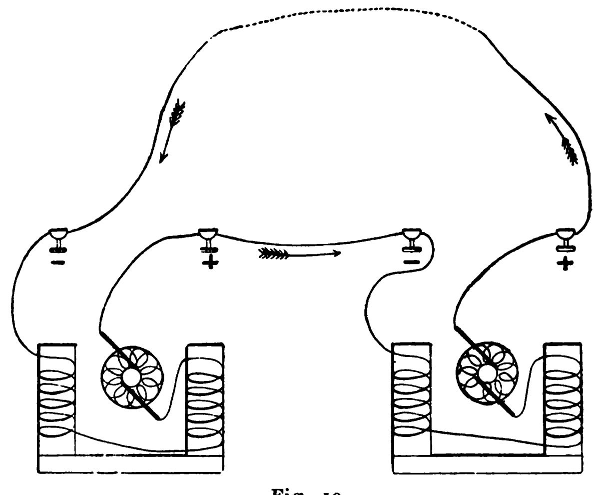


Fig. 19.

vénient à les relier en série (n° 36), c'est-à-dire à faire communiquer la borne positive de l'une avec la borne négative de l'autre (fig. 19); les deux pôles libres constituent les bornes de l'ensemble de la source, dont la force électromotrice est alors égale à la somme des forces électromotrices des deux dynamos prises isolément. Si les deux dynamos ne sont pas construites de manière à produire un courant de même intensité, il est impossible de les as-

sembler ainsi, car le même courant circulant dans les fils des électros et de l'armature, la section des fils de la machine construite pour le courant le plus faible serait insuffisante et elle s'échaufferait rapidement (nº 58).

On ne peut pas réunir directement en dérivation deux dynamos excitées en série. Lorsqu'on les met en mouvement, l'une d'elles s'amorce toujours plus vite que l'autre, quelles que soient les précautions que l'on prenne pour les faire fonctionner d'accord ; celle qui s'amorce la première envoie alors dans l'autre un courant de sens inverse à celui de sa marche normale, et change la polarisation des électros, ainsi que le montre la figure 20.

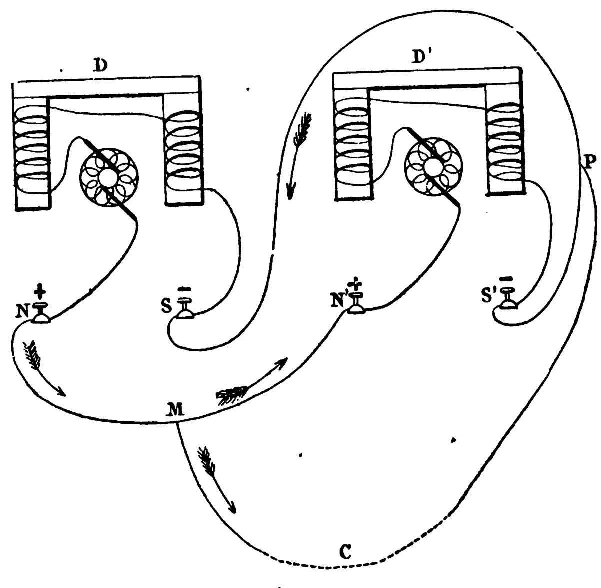


Fig. 20.

Supposons en effet que la dynamo D s'amorce la pre-

mière ; le courant engendré par cette machine circule dans le circuit dans le sens N M C P S D N indiqué par les flèches. La dynamo D′ étant inerte, le courant de la dynamo D se partage aux branchements M et P en deux fractions dont l'une passe dans la canalisation ; l'autre parcourt la dérivation M N′ D′ S′ P qui contient la dynamo D′, dans le sens indiqué par la flèche, c'est-à-dire dans le sens contraire à celui qui résulterait du courant produit par la dynamo D′, si elle fonctionnait régulièrement. Ce courant de sens contraire suffit à renverser la polarité de D′ ; de plus, comme la résistance propre des dynamos est très faible, le courant acquiert immédiatement une intensité très considérable qui est susceptible de détériorer complètement les deux dynamos.

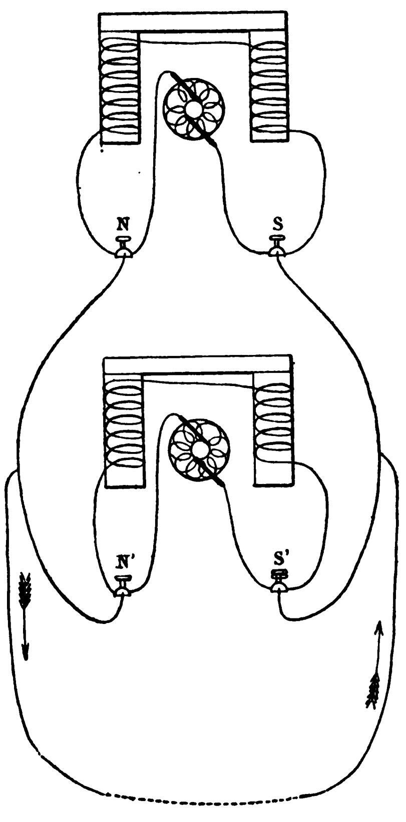


Fig. 21.

On a proposé des dispositions spéciales pour remédier à ces inconvénients, mais elles ne sont pas très pratiques, car elles ne permettent plus, si on les applique, de faire marcher une machine isolée : il faut les faire tourner constamment toutes deux ensemble, à moins de refaire chaque fois une nouvelle modification au groupement.

75. Machines excitées en dérivation. — Les machines excitées en dérivation peuvent être couplées en quantité sans inconvénient (fig. 21), à condition, bien entendu, de ne pas demander à leur groupe un courant d'intensité plus fort que la somme des intensités que peut fournir chaque dynamo isolément. Il faut en outre que chaque machine prise séparément ne fournisse pas un courant d'intensité plus élevée que celui qu'elle peut produire. On s'en assure avec un ampèremètre, et si l'on en constate le besoin, on règle le courant en manœuvrant convenablement les rhéostats intercalés dans les inducteurs des dynamos. Il faut, surtout au moment de la mise en marche des machines et de leur arrêt, combiner avec soin la manœuvre de ces rhéostats de manière à ne pas dépasser les limites voulues pour les intensités maxima qu'elles peuvent engendrer.

On ne peut pas relier en série deux machines excitées en dérivation, comme l'indiquerait la figure 22, sans changer le mode d'attache des fils du shunt aux bornes des dynamos. L'une des deux dynamos, en effet, s'amorce toujours plus vite que l'autre. Supposons que ce soit la dynamo D. Elle engendre un courant qui circule dans le sens indiqué par les flèches. L'induit C′ ne produisant au commencement qu'un courant nul ou seulement très faible, le courant envoyé par la machine D dans le circuit se partage aux points N′ et S′ en deux autres, dont la direction est indiquée par des flèches, dans les circuits N′ C′ S′ et N′ D′ S′. Le courant qui passe dans les électros E′ est par suite de sens

opposé à celui que fournirait la dynamo D′ marchant seule ; l'induction de ces électros E′ sur l'armature de la machine D′ lui fait produire un courant de sens contraire à celui qu'elle devrait envoyer dans la canalisation. Ce courant réagit sur la dynamo D en la contrariant, et réciproquement, de sorte qu'au bout de quelques instants, aucune des dynamos ne produit plus de courant.

Si l'on tient à réunir en série deux machines excitées en dérivation, il faut relier en série séparément, d'un côté

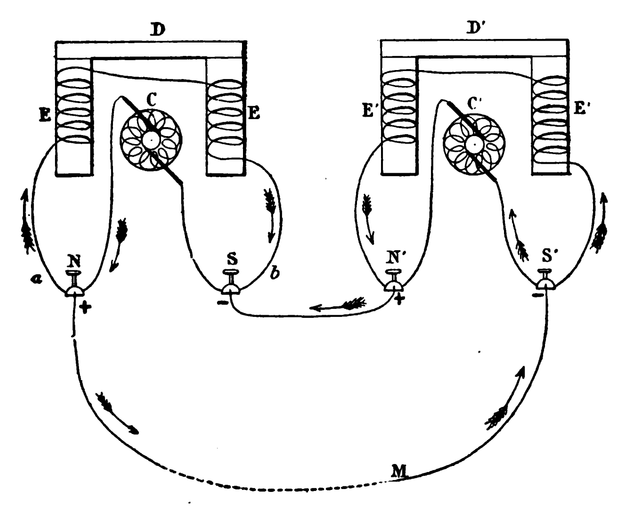


Fig. 22.

les armatures des dynamos par l'intermédiaire des balais, et de l'autre côté les électros, de manière à réaliser la disposition indiquée figure 23. La borne négative de la première machine est reliée à la borne positive de la deuxième ; l'extrémité négative du fil des électros de la première machine est retirée de sa borne, ainsi que l'extrémité positive du fil des électros de la deuxième, et les deux bouts libres

sont attachés ensemble ; les fils extrêmes, positif de la première machine et négatif de la deuxième, restent fixés à leurs bornes d'où partent les fils de la canalisation. Dans ce cas encore, on est obligé de faire constamment marcher les deux dynamos ensemble.

76. Machines compound. — Les machines compound étant à la fois excitées en série et en dérivation, on ne peut

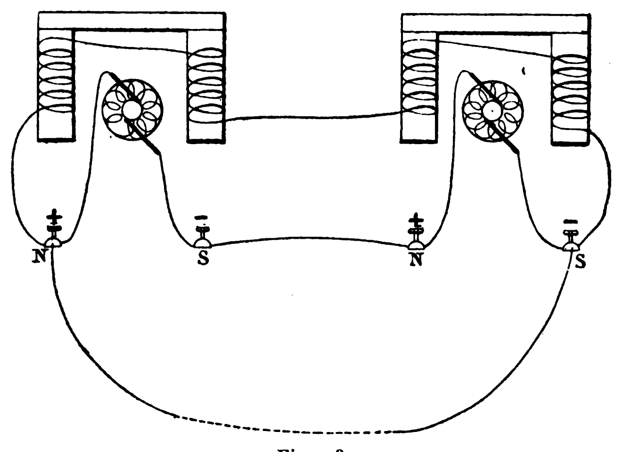


Fig. 23.

les accoupler ni en tension ni en quantité, puisque dans le premier cas elles présentent les inconvénients des machines excitées en dérivation, et dans le second ceux des machines excitées en série. On ne parvient à les associer que par l'emploi de dispositions compliquées ; pratiquement on ne réunit jamais deux dynamos compound ; on préfère installer deux circuits distincts, lorsque la machine d'une usine devenant insuffisante, on se décide à lui en adjoindre une autre.

TROISIÈME PARTIE

Accumulateurs

---

77. Description sommaire. — Un accumulateur se compose en principe de deux plaques de plomb garnies de

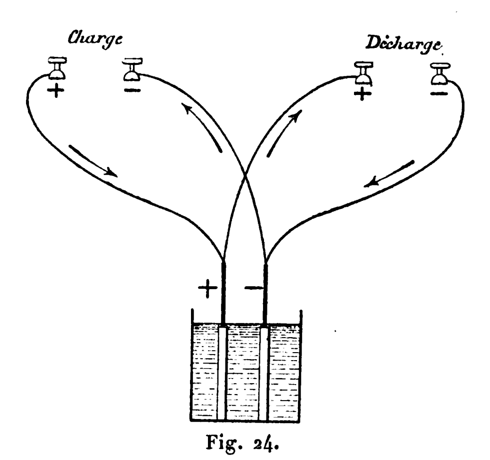


Fig. 24.

sulfate de plomb et baignant dans de l'eau acidulée par l'acide sulfurique. Si l'on fait passer un courant entre les deux plaques servant d'électrodes, comme dans un voltamètre, l'oxygène de l'eau décomposée se porte au pôle positif et l'hydrogène au pôle négatif, de sorte que le sul-

fate de plomb de l'électrode positive se transforme en peroxyde de plomb, tandis que celui de l'électrode négative est réduit à l'état de plomb métallique spongieux ; l'acide sulfurique des sulfates est libéré et augmente la concentration du liquide acidulé.

Lorsqu'on réunit ensuite les deux électrodes par un conducteur, il se produit dans l'acumulateur des réactions chimiques qui ramènent les plaques à leur état primitif, et ces réactions donnent naissance dans le conducteur à un courant allant de l'électrode positive à l'électrode négative.

78. Différents genres d'accumulateurs. — A l'origine, Planté, l'inventeur des accumulateurs, garnissait ses plaques de sulfate de plomb par l'action du courant lui-même, en faisant passer dans ses appareils, à de nombreuses reprises, le courant tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. A chaque passage, le métal était attaqué un peu plus profondément, et le constructeur finissait par obtenir des éléments ayant assez de matière susceptible d'emmagasiner l'électricité pour pouvoir être utilisés industriellement.

Cette fabrication des électrodes est très longue ; aussi a-t-on imaginé de remplacer la préparation électrolytique des plaques par l'application mécanique du sulfate de plomb sur un support conducteur.

Aujourd'hui la presque totalité des plaques employées dans la pratique est formée d'un cadre ou grillage en alliage de plomb, d'antimoine et de mercure, inattaquable par l'acide sulfurique comme le plomb, mais plus résistant que lui. Dans ce cadre sont ménagées des cellules ou des rainures de formes et de dispositions variant avec les constructeurs, et l'on y introduit de l'oxyde ou du sulfate de plomb fortement comprimé. Les grillages ainsi chargés mécaniquement d'oxyde et de sulfate de plomb sont beau-

coup plus faciles à faire que les plaques Planté et jouissent des mêmes propriétés que ces dernières.

Néanmoins, dans certains cas, les accumulateurs du genre Planté conservent une certaine supériorité sur leurs dérivés, comme nous le verrons plus loin (nº 109), et plusieurs constructeurs font leurs efforts pour revenir au principe primitif en employant des dispositions spéciales pour simplifier la préparation des plaques de cette espèce. Ils espèrent ainsi créer un type nouveau, réunissant les avantages des deux genres d'accumulateurs.

79. Montage d'un accumulateur. — Un accumulateur est en général composé d'un réservoir en verre, en grès ou en bois garni de verre ou de plomb, inattaquable par l'acide sulfurique, et dans lequel on range un nombre impair de plaques, alternativement positives et négatives.

On appelle *plaques positives* d'un accumulateur celles qu'on met en communication directe avec le pôle positif de la dynamo, au moyen du conducteur et de la connexion; les *plaques négatives* sont celles qu'on relie avec le pôle négatif de la machine pendant la charge de l'appareil.

Les plaques extrêmes sont négatives en général, et peuvent ne renfermer du mélange actif de sulfate de plomb que sur leur face interne. Les plaques sont toutes munies d'une *queue* ou *projection* fondue avec elles, d'un seul côté du cadre.

Lorsqu'on reçoit des accumulateurs, il faut d'abord vérifier que les bacs sont étanches, en y versant de l'eau et en examinant s'il n'y a pas de petite fuite qu'il est nécessaire de réparer avant toute autre opération. On procède ensuite au montage.

Pour monter un élément, on y range les plaques en plaçant toutes les queues positives d'un côté et toutes les queues négatives de l'autre. On soude ensuite les extré-

mités de toutes les queues positives dans une lame de plomb appelée *connexion*, qui sert à relier chaque élément à l'élément voisin, et l'on soude de même toutes les extrémités des queues négatives dans une autre connexion. Pour faire cette soudure, il est indispensable d'employer du plomb pur ou un alliage analogue à celui du cadre ; il ne faut pas se servir d'étain, car celui-ci serait attaqué par les gouttes d'acide sulfurique projetées pendant la charge des accumulateurs et les communications deviendraient défectueuses.

Les plaques sont maintenues verticalement, à la position qu'elles doivent occuper dans la caisse de l'élément, de différentes manières suivant les constructeurs. Certains emploient des cadres en bois paraffiné ; d'autres des supports en verre isolés des parois de la caisse par des bandes de caoutchouc, les plaques étant elles-mêmes isolées les unes des autres et maintenues à une distance convenable par du caoutchouc ; d'autres encore les suspendent à une traverse isolante posée sur les bords supérieurs de la caisse. Quel que soit le mode de montage, il importe que les plaques, soient placées bien *parallèles* entre elles, bien *équidistantes* et bien *isolées* des parois de la caisse.

80. Courts-circuits. — Si les plaques ne sont pas bien parallèles et équidistantes, les parties les plus rapprochées offrant moins de résistance au passage du courant que les autres, il se produit des déformations dans les plaques ; elles arrivent à la longue à se toucher par un point en établissant ainsi ce qu'on appelle un *court-circuit*. Le même fait se produit si les plaques touchent les parois de la caisse qui les contient, quand celle-ci est conductrice de l'électricité.

Les courts-circuits se produisent surtout par suite du boursouflement de la pâte d'oxyde et de sulfate de plomb

intercalée dans les quadrillages des plaques, dont elle constitue la partie active. Sous l'influence du courant, cette composition se dégonfle pendant la décharge, mais son expansion n'est pas absolument régulière. Au bout d'un certain temps, il se forme, à la surface des pastilles ou des languettes de pâte, des petites bulles qui crèvent en laissant des bavures, dont le contact avec celles des plaques voisines produit des courts-circuits.

Lorsqu'il s'établit des courts-circuits dans un élément, il se décharge de lui-même plus ou moins rapidement ; au bout d'un certain temps, non-seulement il disparaît ainsi une quantité notable d'électricité en pure perte, mais on ne parvient plus du tout à le charger. Nous verrons plus loin comment on remédie à ce défaut lorsqu'il se produit accidentellement en marche, mais, en tout cas, il faut faire tout son possible pour l'éviter au moment du montage.

81. Installation d'une batterie. — Les connexions étant soudées, on place les accumulateurs à côté l'un de l'autre, par terre ou sur des rayons disposés à cet effet, en ayant soin de mettre sous chaque coin des bacs un isolateur en porcelaine ou en verre, pour que l'isolement des éléments avec le sol soit le plus parfait possible. On peut se contenter d'employer quatre petits tasseaux de bois paraffiné placés en rectangle, les deux tasseaux latéraux reposant sur les extrémités des tasseaux longitudinaux.

Il est préférable de mettre tous les accumulateurs par terre, sur leurs isolateurs, bien entendu, en plusieurs lignes, assez espacées pour qu'on puisse accéder facilement à chaque élément, et de n'employer des rayons superposés que si l'on manque de place. Les rayons, si l'on est obligé d'y avoir recours, doivent être très solides, à cause du poids considérable des accumulateurs ; on les fait généralement en planches épaisses de chêne recouvertes de plusieurs couches de vernis.

Les accumulateurs étant ainsi disposés, on décape soigneusement les extrémités des connexions qui doivent être en contact, puis on réunit solidement la connexion négative de chacun d'eux avec la connexion positive du suivant, et réciproquement (fig. 25). La batterie est alors montée.

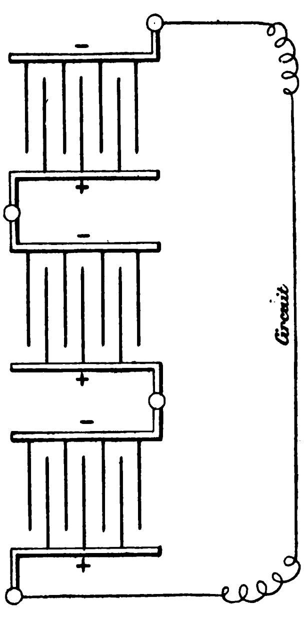


Fig. 25.

82. Solution acide. — Le montage des accumulateurs terminé, il faut les remplir avec une solution d'acide sulfurique de manière à dépasser le niveau supérieur des plaques d'un centimètre environ. On trouve ces solutions toutes faites dans le commerce, mais il vaut mieux les préparer soi-même. Cela coûte moins cher, et c'est moins encombrant de faire une provision d'acide concentré que d'acide étendu. On se sert pour cet usage d'*acide sulfurique pur à* 66°,que l'on verse dans un baquet d'*eau distillée* ou de *pluie* jusqu'au moment où la concentration de la solution refroidie est abaissée à 20° *Beaumé*. Bien entendu, il faut prendre les précautions usitées pour le maniement de l'acide sulfurique, ne se servir que de vases en plomb, en grès verni, en verre, etc., inattaquables ; verser l'acide peu à peu l'acide dans l'eau et non pas l'eau dans l'acide, et agiter de temps en temps pendant qu'on fait le mélange

Avant de se servir du mélange, il est nécessaire de le

laisser refroidir ; on le prépare pour cela un ou deux jours d'avance.

Lorsque la solution est froide, on la verse dans les bacs des accumulateurs avec un siphon en caoutchouc jusqu'au niveau voulu.

83. Communication avec la source électrique. — Le remplissage terminé, il faut mettre immédiatement les accumulateurs en communication avec la dynamo ou les piles qui doivent les charger. Les accumulateurs sont réunis entre eux en série, c'est-à-dire que la connexion positive de l'un est reliée à la connexion négative du suivant, et ainsi de suite. Quel que soit le mode de liaison adopté par le constructeur, il est nécessaire que les surfaces en contact soient parfaitement décapées et bien serrées l'une contre l'autre. Il est mauvais de les souder entre elles, car il peut être utile d'isoler, à un moment donné, un accumulateur du circuit général pour lui faire subir une réparation ; le montage par boulons est le plus pratique.

Il faut avoir grand soin, au moment où l'on établit la communication avec la dynamo, de bien faire aboutir le fil positif à la borne positive des accumulateurs et le fil négatif à la borne négative ; sans cela, on chargerait les éléments en sens inverse, et on les détériorerait. Si l'on n'est pas absolument sûr de la correspondance des fils avec les bornes de la dynamo, on fait plonger les deux extrémités des conducteurs dans un verre d'eau accidulée ; il se dégage des gaz que l'on recueille avec une petite éprouvette ; le côté négatif est celui de l'hydrogène, c'est-à-dire celui du gaz qui s'enflamme.

84. Force électromotrice maxima des accumulateurs. — Lorsqu'on charge un accumulateur en service courant, la force électromotrice propre qu'il acquiert peut être me-

surée à chaque instant avec un voltmètre. On constate alors que cette force électromotrice monte graduellement jusqu'à une limite de 2,40 ou 2,45 volts, qu'elle ne peut jamais dépasser.

Si l'on se reporte à ce que nous avons vu au sujet de la fixité de la force électromotrice des piles (nº 35), on comprendra facilement que la force électromotrice dépend à chaque instant de la réaction chimique qui se produit, et par suite qu'elle est fonction de l'état de charge ou de décharge plus ou moins avancée de l'élément, sans toutefois dépasser une limite donnée qui correspond à l'action chimique maxima, lorsque tout le plomb est suroxydé au pôle positif et réduit au pôle négatif.

La force électromotrice d'un élément donne donc des indications précieuses sur son état de charge ou de décharge.

Au contraire, la quantité d'électricité susceptible d'être fournie par un accumulateur et sa résistance intérieure dépendent uniquement de ses dimensions.

85. Capacité des accumulateurs. — Un autre facteur intervient dans l'emploi des accumulateurs, c'est la *capacité,* c'est-à-dire la quantité d'électricité qu'ils sont susceptibles d'emmagasiner ou plutôt de *restituer en service courant.*

La capacité d'un accumulateur varie également avec ses dimensions, à peu près proportionnellement au poids du plomb contenu dans les plaques qui le composent. On a l'habitude de l'évaluer en ampères-heure (nº 19) : ainsi un accumulateur ayant une capacité de 50 ampères-heure est celui qui pourra fournir en service un courant de 1 ampère pendant 50 heures (ou 5 ampères pendant 10 heures, par exemple), en revenant ensuite au point initial de la charge.

En pratique, on peut compter en moyenne sur une capacité de 5 à 6 ampères-heure par kilogramme de plaques (poids total des plaques positives et négatives). En tout cas, les indications des constructeurs renseignent sur le poids des plaques et la capacité pour chaque type qu'ils établissent.

86. Résistance intérieure des accumulateurs. — La résistance intérieure d'un accumulateur est très faible, et d'autant plus faible que l'élément présente une plus grande surface. En pratique, on peut appliquer la formule suivante :

$$\rho = \frac{0,08}{P}$$

dans laquelle les lettres désignent :

ρ la résistance intérieure exprimée en ohms ;

P le poids total des plaques en kilogrammes.

87. Charge des accumulateurs. — Au début de la charge, les accumulateurs neufs présentent une grande instabilité ; ils se déchargent très vite et leur rendement est très faible. Pour pouvoir les utiliser pratiquement, il est utile de leur faire subir l'opération appelée *formation*.

88. Formation des accumulateurs. — Il faut commencer par faire passer dans l'accumulateur, pendant trente à quarante heures, toujours dans le même sens, un courant ayant une intensité voisine de 0,7 ampère par kilogramme de plaques.

Si l'on observe avec un voltmètre la force électromotrice de l'élément, on constate qu'elle croît graduellement d'une façon à peu près uniforme jusqu'à 2,05 volts, où elle s'arrête longtemps, puis elle croît très lentement jusqu'à un maximum de 2,40 ou 2,45 volts qu'elle ne dépasse jamais.

A ce moment, l'accumulateur est formé et peut être utilisé ; la courbe ci-dessous (fig. 26) représente à peu près les conditions de la charge, les temps étant portés en abscisses et les volts en ordonnées.

Si l'on examine la solution liquide pendant la charge, on voit que lorsque la tension atteint 2,20 volts, des petites bulles de gaz s'échappent à la surface du bain ; plus on

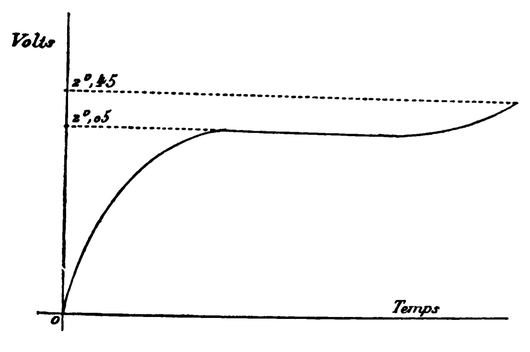


Fig. 26.

pousse la charge, plus les bulles deviennent nombreuses ; lorsque la tension croît de 2,20 à 2,40 volts, dans la dernière période de la charge, l'effervescence devient telle que le liquide finit par paraître laiteux. On dit, mais improprement, que le liquide *bout*.

Enfin, si l'on mesure avec un aréomètre le degré de la solution acide, on constate que sa densité croît constamment avec la charge jusqu'à un maximum de 24 à 25° Beaumé.

Ces trois indications : force électromotrice de 2,40 à 2,45 volts, — ébullition du liquide, — élévation de sa densité à 24 ou 25° Beaumé, sont caractéristiques de la charge complète. L'accumulateur est alors *formé*.

89. Remarque sur la mesure de la force électromotrice. — Lorsqu'on mesure la force électromotrice d'un accumulateur avec un voltmètre, il faut avoir soin d'interrompre la communication avec la source d'électricité, sans cela on obtient des indications beaucoup trop élevées.

Par la pratique, on arrive à faire cette lecture sans rompre le circuit ; après avoir observé plusieurs fois le voltage en marche, on finit par savoir qu'une tension de 70 volts, par exemple, obtenue lorsque le circuit est fermé sur la dynamo, correspond à 60 volts en circuit ouvert ; mais cette chute de pression varie dans chaque cas particulier, et les chiffres indiqués plus haut se rapportent à la force électromotrice lue lorsque le circuit est ouvert.

L'accumulateur étant formé, on peut le mettre en service courant, en prenant les précautions que nous allons indiquer pour la décharge et la charge.

90. Charge normale. — Pour charger un accumulateur en service normal, il faut y faire passer un courant dont l'intensité *maxima* est indiquée par le constructeur dans chaque cas particulier. En général, on peut compter sur un courant de 0,7 à 1 ampère par kilogramme de plaques. Au-delà de cette dernière intensité, l'accumulateur se fatigue ; son rendement est moins élevé et son usure plus rapide. Il est bon de diminuer graduellement l'intensité vers la fin de la charge.

Par exemple, pour charger un accumulateur de 10 kilogr., il faudra y faire passer un courant de 8 à 10 ampères au commencement de la charge, et l'abaisser vers la fin à 6 ou 7 ampères. On arrive facilement à régler l'intensité à l'aide de deux rhéostats introduits, l'un dans la dérivation de la dynamo, l'autre dans la ligne, ce dernier intervenant quand on ne peut pas diminuer suffisamment l'intensité en intercalant dans le shunt toutes les spires du rhéostat de la dynamo.

Bien entendu, ce chiffre de 7 à 10 ampères s'applique aussi bien à une batterie d'accumulateurs disposés en *série* qu'à un seul élément, d'après la remarque du n° 7, puisqu'il passe la même quantité d'électricité dans chaque portion de la canalisation considérée, et par suite dans chaque accumulateur de la série.

Dans ces conditions, la force électromotrice de l'accumulateur suit la même marche que pendant la dernière partie de la formation ; mais, comme nous allons le voir, au lieu de partir de 0, la courbe des tensions part de 1,80 ou 1,90 volt pour arriver à 2,40 ou 2,45 volts.

On reconnaît que l'accumulateur est chargé par les trois caractères indiqués plus haut. On en est d'abord averti par l'intensité de l'ébullition ; on examine ensuite la force électromotrice, et l'on peut considérer que la batterie est pratiquement chargée lorsque la tension atteint

$$n \times 2{,}30 \text{ à } 2{,}35 \text{ volts}$$

pour une série de n accumulateurs. Il est inutile de pousser la charge plus loin en service ordinaire.

91. Décharge. — Lorsqu'on décharge les accumulateurs, la force électromotrice baisse en observant une marche à peu près inverse de celle qu'elle suit pendant la charge, c'est-à-dire qu'elle s'abaisse presque immédiatement à 2,05 volts, où elle reste très longtemps, puis décroît d'une façon à peu près uniforme, comme l'indique la figure 27.

Il ne faut jamais laisser la force électromotrice d'un accumulateur descendre au-dessous de 1,80 volt ; en service courant, il est même préférable de ne pas l'abaisser au-dessous de 1,90 volt. Au delà de 1,80 volt, l'accumulateur se détériore rapidement, et son rendement diminue notablement, à tel point que si, par suite d'un accident, comme nous le verrons plus loin, la force électromotrice

d'un élément est descendue au-dessous de 1,40 ou 1,50 volt, il devient nécessaire de lui faire subir une nouvelle formation.

L'intensité du courant fourni par un accumulateur dépend de la résistance extérieure du circuit et se détermine d'après la loi d'Ohm. Plus on décharge lentement un accumulateur, plus son rendement est considérable. Dans chaque cas particulier, les constructeurs indiquent l'intensité *maxima* du courant que peut débiter un accumulateur en service normal. En général, on compte sur 1 à 1,5 ampère par kilogramme de plaques. Ainsi un accumulateur de 10 kilogs. (ou une série d'accumulateurs de 10 kilogs.) peut fournir un courant de 8 à 10 ampères sans fatigue, et au maximum de 15 ampères.

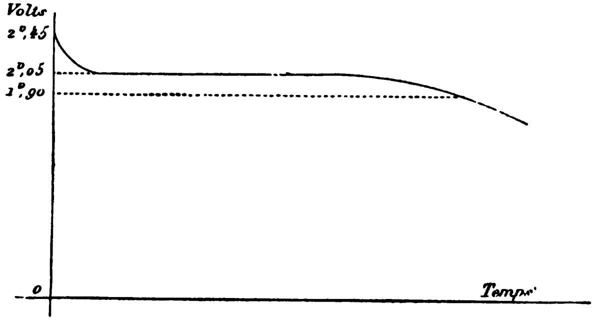


Fig 27.

92. Rendement des accumulateurs. — Dans une bonne installation d'accumulateurs, le rendement peut atteindre pratiquement 65 à 70 o/o. Le rendement en travail (ou en watts) est évidemment le produit de deux facteurs, le rendement en force électromotrice et le rendement en intensité, d'après la formule

$$W = EI \text{ (n° 32)},$$

93. Rendement en force électromotrice. — Pour nous en rendre compte, prenons un exemple pratique. Supposons que nous chargions une batterie d'accumulateurs. Soient

n le nombre des éléments de la batterie,
ρ la résistance intérieure d'un accumulateur en ohms,
r la résistance de la ligne en ohms,
E la force électromotrice de la dynamo en volts,
e la force électromotrice d'un accumulateur en volts,
i l'intensité du courant de charge en ampères.

Nous aurons en appliquant la loi d'Ohm (n° 22) :

$$E - ne = i\,(r + n\rho)$$

Pratiquement, supposons que nous chargions 25 accumulateurs de 20 kilogs et que la résistance de la ligne r soit égale à 0,2 ohm, ce qui représente des conditions très admissibles.

D'après ce que nous avons vu (n° 86), la résistance intérieure d'un tel accumulateur est donnée par la formule :

$$\rho = \frac{0{,}08}{P} = \frac{0{,}08}{20} = 0{,}004 \text{ ohm.}$$

La force électromotrice moyenne e d'un élément pendant la charge est 2,05 volts (n° 90).

Admettons que l'intensité moyenne i du courant de charge soit de 0,8 ampère par kilogramme de plaque, soit 16 ampères (n° 90).

En remplaçant dans la formule les lettres par leur valeur, on obtient

$$E - 25 \times 2{,}05 = 16\,(0{,}2 + 25 \times 0{,}004)$$

d'où

$$E = 56{,}05 \text{ volts.}$$

En moyenne, la force électromotrice de la dynamo sera donc de 56,05 volts.

Pendant la décharge, la force électromotrice moyenne

de chaque élément est de 2,05 volts (n° 91). Celle de la batterie sera donc de

$$2{,}05 \times 25 = 51{,}25 \text{ volts.}$$

Le rendement en voltage sera par suite

$$\frac{51{,}25 \times 100}{56{,}05} = 91 \text{ o/o}$$

Pratiquement, lorsque l'installation est bonne, on peut compter sur un rendement de 85 à 90 pour 100.

94. Rendement en intensité. — Il est assez difficile de se rendre compte théoriquement du rendement en intensité, mais pratiquement, lorsqu'on charge et qu'on décharge un accumulateur dans les limites que nous avons indiquées, on obtient un rendement en intensité de 80 à 90 pour cent, c'est-à-dire que si l'on charge, par exemple, une batterie pendant 10 heures avec un courant de 16 ampères, de manière à lui envoyer 160 ampères-heure, on pourra recueillir de 128 à 144 ampères-heure en la *ramenant aux conditions initiales* de la charge.

95. Rendement en travail. — Le rendement en travail est égal au produit des précédents. Il peut donc atteindre 70 ou 80 pour 100 dans les bonnes installations.

Nous avons admis dans les deux derniers paragraphes que les accumulateurs étaient chargés à refus et déchargés jusqu'à 1,90 volt. Le rendement reste à peu près le même lorsque la batterie reçoit une charge moins forte que sa charge maxima ; dans certains cas, il peut même être avantageux, au point de vue du rendement, de ne pas pousser les charges à fond d'une façon permanente, si l'on peut s'en dispenser.

96. Calculs de l'installation d'accumulateurs. — Le pro-

blème que l'on se pose en général est le suivant : on désire avoir un courant de i ampères pendant n heures, avec une différence de potentiel de e volts aux bornes de la source. Quelle batterie d'accumulateurs devra-t-on installer et quelle dynamo pourra charger ces accumulateurs ?

97. Exemple. — Prenons un exemple pratique, qui pourra servir de guide dans tous les cas analogues :

Une batterie d'accumulateurs doit fournir un courant de 10 ampères pendant 12 heures sous une différence de potentiel de 50 volts. Quelles sont les meilleures conditions d'installation ?

98. Choix des accumulateurs. — Si les 50 volts représentent le minimum à obtenir, la force électromotrice minima de chaque élément étant, en service normal, de 1,90 volt, il faudra une batterie de

$$\frac{50}{1,9} = 27 \text{ accumulateurs,}$$

disposés en *série*. La force électromotrice de ces 27 accumulateurs variera d'un maximum de

$$27 \times 2,3 = 62,1 \text{ volts}$$

à un minimum de

$$27 \times 1,9 = 51,3 \text{ volts (n}^{\text{o}}\text{ 91).}$$

Si cette inconstance présente un inconvénient, on pourra rendre la différence de potentiel constante au moyen d'un rhéostat variable. On intercalera peu à peu dans le circuit, pendant la décharge, un nombre de spires du rhéostat de plus en plus faible, en réglant cette manœuvre d'après les indications d'un voltmètre marquant la différence de potentiel entre les deux points où elle doit être égale aux 50 volts cherchés.

S'il s'agit au contraire d'un éclairage ordinaire, et si,

l'on demande simplement une force électromotrice moyenne de 50 volts, la force électromotrice de chaque accumulateur s'élevant en moyenne et pendant la plus grande partie de sa décharge à 2,05 volts, il suffira de

$$\frac{50}{2{,}05} = 24 \text{ accumulateurs en série.}$$

Pour obtenir un courant de 10 ampères pendant 12 heures, il faudra des éléments ayant une capacité de 120 ampères-heure, soit des éléments de 20 kilogs, à raison de 6 ampères-heure par kilogramme de plaques (n° 85). Pour être un peu au large, il serait préférable de prendre des éléments de 25 kilogs.

Ces éléments donneront, sans aucune fatigue, à la décharge, un courant de 10 ampères, correspondant à 0,4 ampère par kilogramme de plaques (n° 91).

Si, au contraire, il avait fallu un courant de 40 ampères pendant 3 heures, ces mêmes éléments de 25 kilogs, bien qu'ayant une capacité suffisante, auraient été un peu faibles, puisqu'ils auraient dû fournir à la décharge un courant de 1,6 ampère par kilogramme de plaques. Il serait préférable, dans ce cas, de prendre des accumulateurs de 30 à 40 kilogs, suivant que les indications spéciales du constructeur permettent de pousser plus ou moins vite la décharge des éléments.

99. Calcul des constantes de la dynamo. — Supposons qu'on se soit décidé, d'après les circonstances, pour 24 accumulateurs de 20 kilogs. Le rendement en volts est de 85 à 90 pour 100 (n° 93) ; la force électromotrice maxima de la batterie d'accumulateurs est de

$$24 \times 2{,}4 = 57{,}6 \text{ volts ;}$$

la force électromotrice de la dynamo devra donc être au moins égale à

$$\frac{57,6 \times 100}{85} = 68 \text{ volts.}$$

Le rendement en ampères étant de 80 à 90 pour 100, comme il est nécessaire d'accumuler 120 ampères-heure, la machine devra fournir

$$\frac{120 \times 100}{80} = 150 \text{ ampères-heure.}$$

Elle devra donc produire un courant de 10 ampères pendant 15 heures, ou de 15 ampères pendant 10 heures, ou au maximum de 20 ampères (limite maxima de la charge pour des accumulateurs de 20 kilogs [n° 90]), pendant 7 heures 30 minutes.

Suivant le cas, il y aura lieu d'installer une dynamo de 70 volts et 10, 15 ou 20 ampères.

100. Autre problème. — Le problème de l'installation d'accumulateurs peut se présenter sous une autre forme : on possède une dynamo déterminée, qui est disponible un certain nombre d'heures de la journée, on demande la valeur maxima du travail qui pourra être emmagasiné dans des accumulateurs pendant ce laps de temps.

Par exemple, on peut employer une dynamo de 70 volts et 14 ampères pendant 6 heures par jour pour charger des accumulateurs. Quel travail pourront-ils fournir à la décharge ?

1° Le rendement en voltage étant de 85 à 90 pour cent (n° 93), de la force électromotrice maxima à la décharge sera de

$$\frac{70 \times 85}{100} = 60 \text{ volts,}$$

et par suite on pourra charger

$$\frac{60}{2,4} = 25 \text{ accumulateurs;}$$

la force électromotrice, pendant la décharge, variera d'un minimum de

$$25 \times 1,9 = 47,5 \text{ volts.}$$

à un maximum de

$$25 \times 2,4 = 60 \text{ volts ;}$$

mais pendant la majeure partie de la décharge, elle ne sera que de

$$25 \times 2,05 = 51,25 \text{ volts.}$$

Lorsque la résistance de la ligne qui joint la batterie à la dynamo est assez considérable, il faut s'assurer que la *perte en ligne* (n° 136) n'est pas supérieure à la différence qui existe entre la force électromotrice de la dynamo et la force électromotrice maxima de la batterie (soit 10 volts dans le présent exemple). Il suffit, pour cela, que les quantités numériques précédentes satisfassent l'équation de la charge établie au n° 93.

2° La machine produit en 6 heures

$$6 \times 14 = 84 \text{ ampères-heure.}$$

Le rendement de la batterie variant entre 80 et 90 pour 100, on pourra compter sur une accumulation de

$$\frac{84 \times 80}{100} = 67 \text{ ampères-heure ;}$$

l'intensité du courant de charge étant de 14 ampères, il sera bon d'employer des accumulateurs de 20 kilogs, à raison de 0,7 ampère par kilogramme de plaques (n° 90) à la charge.

La batterie pourra fournir à la décharge un courant de 67 ampères-heure, décomposable en 6,7 ampères pendant 10 heures, ou 10 ampères pendant 6 heures 40 minutes, ou 20 ampères pendant 3 heures 20 minutes.

Les autres problèmes qui peuvent se poser pour une installation d'accumulateurs se résolvent d'une façon analogue, en adoptant les mêmes coefficients.

101. Règles pratiques à suivre pour l'entretien des accumulateurs. — Lorsqu'on met une batterie d'accumulateurs en service, il faut surveiller chaque élément avec soin pendant les premiers jours, afin de voir si aucune anomalie particulière ne se produit. Les instruments de mesure qui doivent accompagner toute batterie d'accumulateurs sont les suivants :

1° Un voltmètre, assez puissant pour mesurer la tension totale de la batterie, placé en dérivation sur le circuit (n° 68).

2° Un petit voltmètre très sensible, gradué en dixième de 0 à 3 volts, permettant de mesurer exactement la force électromotrice de chaque élément. Deux longs fils partent des bornes de ce voltmètre et peuvent s'adapter rapidement avec une petite pince à ressort aux pôles de chaque élément pendant que l'on fait la lecture.

3° Un ampèremètre.

4° Un aréomètre Beaumé. Pour lire facilement le degré de l'acide de l'un des bacs, on peut employer le petit instrument très simple représenté figure 28. L'aréomètre est enfermé sans frottement dans un gros tube de verre fermé à chacune de ses extrémités par un bouchon de caoutchouc. Chaque bouchon est traversé par un petit tube de verre muni d'un tuyau de caoutchouc. Pour faire une lecture, on plonge le caoutchouc inférieur dans le bas et l'on aspire avec la bouche de l'autre côté jusqu'au moment où l'on a suffisamment d'acide pour faire flotter l'aréomètre. On opère ainsi très rapidement.

En général, dans les premiers jours, tout fonctionne bien. Si parfois un accumulateur présentait quelque chose d'anormal, il faudrait le mettre *hors circuit*, c'est-à-dire le retirer de la batterie, et le traiter comme nous l'indiquerons plus loin. Les seuls accidents que l'on constate assez fréquemment au commencement d'une installation, sont des

fuites qui se manifestent dans les bacs. Il faut enlever du circuit, les uns après les autres, les éléments percés, les vider, les démonter et réparer les bacs ; on les remet ensuite en service.

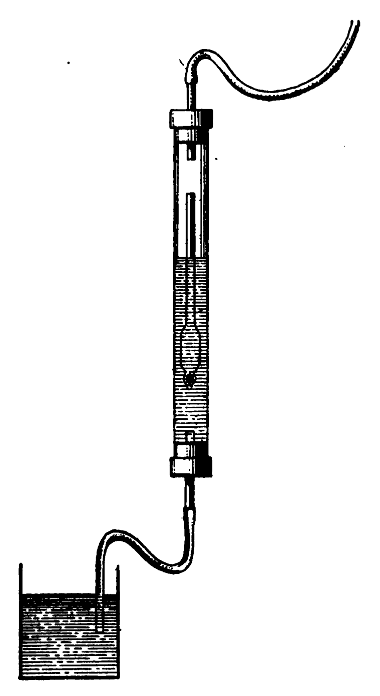


Fig. 28.

Il est bon, dans les premiers jours, de toucher de temps en temps avec la main les contacts des connexions. Si l'on remarque une élévation de température, c'est que les communications ou les soudures sont mal établies : il faut alors les vérifier.

102. Accumulateurs supplémentaires. — Lorsqu'on

enlève un élément du circuit pour le réparer, il ne faut pas songer à déplacer tous les autres accumulateurs pour reconstituer la série continue ; on relie les deux pôles voisins, sans les déranger, par un fil ou une barre d'un diamètre suffisant ; mais pendant la réparation de l'accumulateur, on peut se trouver gêné si l'on tient à conserver une force électromotrice déterminée. Aussi est-il bon d'avoir toujours un ou deux accumulateurs de plus que le nombre strictement nécessaire. En général, la dynamo pourra les charger, puisqu'on lui demande une simple augmentation de force électromotrice sans changement dans l'intensité (n°s 58 et 62). Au besoin, on la fait tourner un peu plus vite. Lorsqu'un accumulateur est avarié, on le remplace rapidement par un de ces éléments supplémentaires, et l'on peut ainsi marcher normalement.

Il faut toujours que ces accumulateurs supplémentaires soient chargés. Pour y arriver, il suffit de les intercaler dans le circuit de temps en temps, une fois tous les huit ou quinze jours, par exemple, en les retirant, bien entendu, dans les périodes de décharge. Il existe pour cela des commutateurs très commodes, à plusieurs directions, appelés *réducteurs,* qui permettent de faire ces petites manœuvres d'un seul coup de manette.

103. Régime normal d'une batterie. — En suivant attentivement les accumulateurs pendant les premiers jours de leur installation, on arrive très facilement à se rendre compte du rendement et du régime normal de la batterie ; on est d'ailleurs guidé par les calculs précédents qui donnent une idée approximative de ce qu'on peut lui demander. En se basant sur ces indications, on doit, en la chargeant et la déchargeant chaque jour avec les intensités voulues et pendant les nombres d'heures fixés, revenir tous les matins au même voltage total. Si le voltage baisse et finit par arriver

au-dessous de 1,90 volt par élément, c'est qu'on épuise la batterie : il faut la charger pendant plus longtemps ou la décharger moins. Si au contraire le voltage monte, c'est qu'on peut la décharger davantage ou la charger moins longtemps. Après de bien petits tâtonnements, on arrive en général à l'établissement du régime normal.

Lorsqu'on y est parvenu, deux indications donnent l'assurance du fonctionnement régulier de tous les éléments :

1° Le liquide doit se mettre à bouillir, à peu près au même moment, dans tous les accumulateurs, lorsque la tension atteint 2,20 volts par élément.

2° Tous les jours après la décharge, la force électromotrice totale doit revenir au même point que la veille, si l'on n'a pas forcé volontairement la décharge de la batterie pour une cause accidentelle.

104. Accidents qui peuvent se produire pendant la marche. — Dès que l'on constate une irrégularité dans la marche d'une batterie, si, par exemple, la tension vient à descendre plusieurs jours de suite, sans cause apparente, au-dessous du chiffre habituel, il faut s'en inquiéter et regarder de près tous les éléments. On a alors recours au petit voltmètre de 0 à 3 volts dont nous avons parlé, et on lit (en dehors des périodes de charge et de décharge d'après la remarque faite au n° 89) la force électromotrice qu'il indique pour *chaque* élément pris isolément. On trouve alors en général un élément dont la tension tombe au-dessous de 1,80 volt après la décharge, et monte difficilement pendant la charge.

Cela tient à ce qu'il s'est produit, soit une fuite établissant une communication défectueuse qu'il est alors facile de faire disparaître en vérifiant l'étanchéité du bac, soit un *court-circuit* dans l'intérieur de l'élément (n° 80) par suite d'une déformation des plaques ou d'une boursouflure de

la pâte. Dans ces conditions, l'accumulateur se décharge peu à peu par le circuit ainsi formé dans l'élément, et cette décharge lente fait baisser la force électromotrice à un tel point que si l'on n'y a pas prêté attention pendant plusieurs jours, l'élément ne donne plus aucune force électromotrice et ne peut plus se charger. On dit qu'il est *mort*.

Lorsqu'on s'aperçoit à temps d'un court-circuit, c'est-à-dire lorsque la décharge ne fait pas tomber l'élément sensiblement au-dessous de 1,80 volt, il suffit de redresser les plaques qui peuvent être déformées ; on y arrive facilement à l'aide de deux morceaux de bois dur taillés en coins, que l'on introduit de force entre les plaques, de manière à les rendre planes. On passe ensuite, dans chaque intervalle compris entre deux plaques successives, une petite latte de bois dur de manière à balayer les boursouflures qui auraient pu se produire. On vérifie le degré de l'acide avec l'instrument dont nous avons parlé (n° 101) et on le ramène au point voulu, le cas échéant, par l'addition d'eau pure ou d'acide concentré. On peut ensuite remettre l'élément dans le circuit sans inconvénient : il se reforme de lui-même.

Mais lorsque l'élément est mort ou quand on a laissé tomber la force électromotrice à une valeur trop faible, l'opération est plus délicate et il faut prendre des précautions spéciales. On commence par mettre l'accumulateur hors circuit et le remplacer par un des accumulateurs de secours dont nous avons signalé l'utilité (n° 102). On redresse ensuite les plaques déformées et on balaye les boursouflures comme il est dit plus haut ; il est généralement utile de vider le bac (au cas où l'acide est descendu au-dessous de 16° ou 17°) et de le remplir d'acide neuf. Lorsque l'élément est remonté et nettoyé, on le place à l'extrémité de la batterie, on lui fait subir une nouvelle formation (n° 88). Pour cela, on a recours au réducteur dont il a été

question (nº 102) ; on intercale tous les jours l'élément dans la série pendant la période de charge, et on le retire pendant la décharge, jusqu'au moment où il est complètement formé. Cette opération doit en général être poursuivie pendant quarante ou cinquante heures de charge effective. Quand on juge, d'après la force électromotrice et d'après l'ébullition du liquide, que l'élément est de nouveau en bon état, on le laisse dans la batterie pendant la décharge. Le lendemain si sa force électromotrice n'est pas descendue plus bas que celle des autres, l'accident est bien réparé et on peut remettre l'accumulateur à sa place. Sinon, on le décharge seulement un jour sur deux ou un jour sur trois jusqu'au moment où son régime est devenu semblable à celui des autres éléments.

Lorsqu'en cherchant les causes d'un abaissement de force électromotrice de la batterie, on ne reconnaît rien d'anormal dans un accumulateur isolé, il faut examiner la densité de l'acide de chaque accumulateur et la ramener à 20° (avant la charge), si l'on constate que ce chiffre est dépassé ou n'est plus atteint.

Si tout cela ne suffit pas, il faut passer la baguette de bois entre les plaques dans tous les accumulateurs : l'affaiblissement de la force électromotrice doit alors provenir d'une légère détérioration générale des plaques ayant déterminé des boursouflures que l'on fait ainsi disparaître.

L'observation minutieuse de tous ces détails permet de remédier à tous les accidents qui se produisent dans l'emploi des accumulateurs. En service normal, il suffit d'observer les précautions suivantes.

105. Remplissage des bacs. — L'ébullition qui se produit pendant la charge provient d'une décomposition partielle de l'eau, accompagnée de projections de gouttelettes d'eau acidulée, de sorte que le niveau de l'eau des bacs

s'abaisse lentement et graduellement. Il faut environ une fois par semaine ramener le niveau de l'eau acidulée à celui qu'elle avait primitivement, en ajoutant dans les éléments une quantité suffisante d'acide à 20°. L'expérience a démontré qu'il était préférable de faire cette addition lorsque les accumulateurs sont chargés.

En général, au bout d'un certain temps, le liquide se concentre trop ; aussi est-il nécessaire de vérifier de temps en temps le degré de l'acide des éléments avant la charge. On note ceux dans lesquels la solution est trop concentrée, et, lorsqu'il y a lieu d'y ajouter du liquide pour régler leur niveau, il convient d'employer de l'eau pure jusqu'au moment où le degré a été ramené à son chiffre normal.

106. Nettoyage. — Tous les deux mois environ, il est bon de passer une baguette de bois entre les plaques pour les nettoyer, même si l'on n'est pas obligé de le faire pour l'un des motifs que nous avons indiqués.

Tous les six mois, il faut vider complètement les accumulateurs, les démonter sans toutefois défaire les soudures, laver les plaques avec une brosse douce trempée dans une solution d'acide vieux, les remonter et les remplir d'acide neuf.

107. Repos de la batterie. — Lorsqu'un accumulateur est abandonné à lui-même, il se décharge peu à peu, et au bout d'un temps assez long, il finit même par se décharger totalement. Afin de l'éviter, si l'on ne doit pas se servir d'une batterie pendant une longue période, il faut la charger complètement, et recommencer chaque fois que la force électromotrice descend au-dessous de 1,90 volt par élément. En général, une bonne charge complète par mois suffit pour entretenir une batterie en état.

108. Usure et remplacement des plaques. — En pre-

nant toutes les précautions indiquées pour le service et l'entretien d'une batterie, on parvient à la conserver très longtemps sans y apporter de modifications. Toutefois, au bout d'un certain temps d'usage, la pâte de sulfate de plomb interposée dans les grillages des plaques tombe peu à peu, les plaques finissent par se dégarnir complètement et il est nécessaire de les remplacer; on s'en aperçoit lorsqu'on démonte les accumulateurs pour les nettoyer. On détache alors les plaques mauvaises à l'endroit de leur jonction avec les connexions, et on les remplace par des plaques neuves, en ayant soin de refaire de bonnes soudures.

Les plaques positives s'usent beaucoup plus que les plaques négatives, et il est nécessaire de les renouveler plus souvent.

Une batterie d'accumulateurs ainsi entretenue et réparée peut durer indéfiniment, en exigeant toutefois une dépense annuelle assez considérable, qui peut être évaluée à 15 pour 100 du prix d'achat.

109. Accumulateurs à formation directe. — Tout ce que nous venons de dire s'applique surtout aux accumulateurs à formation artificielle, préparés comme nous l'avons vu n° 78 par l'application mécanique de pastilles de pâte de formes variées dans des grillages conducteurs.

L'avantage des accumulateurs ainsi fabriqués est de n'exiger qu'une formation de 30 ou 40 heures (n° 88), tandis que les accumulateurs du genre Planté, à formation directe par l'électrolyse, demandent des milliers d'heures pour acquérir une capacité d'emmagasinement comparable, à poids égal de plomb.

On a proposé deux ou trois procédés pour activer la formation de ce dernier genre d'accumulateurs ; mais ils n'ont pas encore reçu la consécration de la pratique, et les ac-

cumulateurs à formation artificielle sont aujourd'hui presque universellement employés, malgré les très grands avantages qu'on pourrait retirer de l'application des accumulateurs à formation directe.

Nous allons examiner rapidement les différences qui existent entre ces deux genres d'accumulateurs, aux points de vue de l'entretien, de la capacité et de la décharge, les autres conditions de leur emploi étant à peu près identiques.

110. Entretien. — Nous avons vu (nº 108) que dans les accumulateurs à formation artificielle, les pastilles de pâte, en se gonflant et se dégonflant continuellement, finissent par se détacher du quadrillage qui leur sert de support et qu'on est alors obligé de remplacer les plaques. Ce défaut est surtout sensible lorsque les éléments sont soumis à des changements de place et à des trépidations, par exemple dans les batteries destinées à la traction des tramways ou à l'éclairage des trains ; il acquiert alors une telle intensité que l'on n'a pas encore trouvé de solution vraiment pratique et économique dans cet ordre d'idées.

Dans les accumulateurs à formation directe, au contraire, la matière active est beaucoup plus adhérente, et elle se renouvelle constamment au détriment de la lame de plomb servant de support, de sorte qu'on parvient à utiliser complètement le métal des plaques avant qu'elles ne soient hors de service, c'est-à-dire pendant un temps très long.

111. Capacité. — Par suite de l'attaque successive du support de plomb par l'action du courant, les accumulateurs à action directe poursuivent indéfiniment leur formation, et leur capacité s'accroît toujours. Une fois formés, ils donnent donc de meilleurs résultats, à poids égal de plomb, que ceux de l'autre système.

112. Décharge. — Enfin, à la décharge, les accumulateurs à formation directe sont susceptibles de fournir, sans se détériorer, un courant d'une intensité de 2 ou 3 ampères-heure par kilogramme de plaques, tandis que la décharge des autres est limitée à 1 ampère ou 1,5 ampère, sous peine de détérioration rapide.

113. Autres genres d'accumulateurs. — On a essayé et mis en service d'autres genres d'accumulateurs, dans lesquels on a fait varier la disposition des électrodes, en remplaçant les plaques par des fils ou des agglomérations ayant des formes diverses.

On a construit également des éléments où le plomb est remplacé par du zinc, du cuivre, ou d'autres métaux, mais les résultats obtenus ne paraissent pas présenter un caractère vraiment pratique ; aussi ne les examinerons-nous pas en détail, et renverrons-nous aux traités particuliers les lecteurs désireux de posséder des renseignements plus circonstanciés sur ces questions spéciales.

Les efforts actuels des inventeurs tendent plutôt à améliorer la capacité et la durée des accumulateurs à formation artificielle. Un premier procédé consiste à perforer les pastilles de pâte, de manière à augmenter la surface active des plaques par rapport à leur poids, à faciliter la circulation du liquide dans les éléments, et surtout à permettre la contraction et la dilatation de la matière active.

D'autres constructeurs ont obtenu un grand succès en essayant d'établir des accumulateurs mixtes, contenant une très petite quantité de matière active comprimée dans les rainures du support. Au début de leur fonctionnement, les éléments se comportent comme des accumulateurs à formation artificielle. Puis, pendant la marche normale de la batterie, la matière active se désagrège peu à peu, en même temps que le support est attaqué par le courant et subit lui-

même une véritable formation de plus en plus profonde. Au bout d'un certain temps, lorsque la matière active a presque complètement disparu, les accumulateurs se rapprochent de ceux du genre Planté, et présentent les avantages des éléments à formation directe.

Enfin certains électriciens reviennent franchement au type primitif de Planté en assemblant d'une façon robuste des lames de plomb très minces, de manière à présenter une très grande surface sous un faible poids. Ils acceptent la sujétion d'une longue formation, qu'ils tâchent de réduire au moyen d'artifices plus ou moins pratiques; mais les éléments, une fois formés, sont très remarquables comme capacité et comme solidité.

114. Emploi d'accumulateurs comme volants d'électricité. — On a souvent dit et écrit que les accumulateurs constituent une source précieuse d'électricité, en cas d'arrêt forcé d'une dynamo. L'emploi d'une batterie d'accumulateurs comme volant exige des précautions toutes particulières qu'il est utile de signaler.

Nous avons vu en effet au nº 91 que lors de la décharge d'une batterie, la force électromotrice des éléments tombe presque immédiatement à 2,05 volts, tandis que la source d'électricité qui sert à les charger doit avoir une force électromotrice minima de 2,50 volts par élément. Si, par exemple, une dynamo de 100 volts charge une batterie d'accumulateurs, le courant recueilli aux bornes de la batterie ne sera que de 84 volts quelques instants après le commencement de la décharge de la batterie.

Pour pouvoir employer des accumulateurs comme volants, sans dispositif spécial, il est par suite nécessaire d'effectuer un travail admettant des régimes de voltage différents, ce qui ne se présente que dans la très grande minorité des cas. Lorsqu'il s'agit de lumière électrique en particulier, cette solution est tout à fait inadmissible.

On a proposé plusieurs moyens pour parer à cet inconvénient : le premier consiste à faire tourner la dynamo à deux vitesses différentes, lentement pour l'éclairage direct, plus vite pour la charge des accumulateurs. Nous avons vu en effet (nº 49) que la différence de potentiel aux bornes d'une dynamo est sensiblement proportionnelle à la vitesse de la machine. Ce procédé laisse à désirer, car si la dynamo est construite de manière à tourner à une certaine vitesse pour la charge des accumulateurs, son rendement sera diminué lorsqu'elle marchera plus lentement au moment de l'éclairage direct.

Un deuxième artifice consiste à caler sur un même arbre deux induits inégaux tournant entre les pôles des électros. Pour l'éclairage direct, la communication du plus petit induit avec le collecteur est interrompue par un commutateur et l'induit principal produit seul un courant. Pour la charge des accumulateurs, au contraire, les deux induits sont accouplés en série, ce qui élève la force électromotrice de la dynamo. Cette solution est meilleure, car en établissant convenablement les deux portions de l'induit, on peut obtenir le rapport que l'on désire entre les forces électromotrices de la dynamo dans les deux régimes de marche.

Il est également possible d'installer un jeu convenable de résistances seulement pendant la marche de la dynamo. Ces résistances sont destinées à provoquer une perte de charge artificielle correspondant à la différence qui existe entre la force électromotrice de la machine et celle de la batterie d'accumulateurs.

Enfin on peut intercaler, dans le circuit, des accumulateurs supplémentaires lorsque la dynamo s'arrête, de manière à égaliser les voltages, ou bien, ce qui revient au même, on peut brancher la canalisation de lumière en dérivation sur une partie seulement des éléments de la bat-

terie, les accumulateurs supplémentaires étant mis en circuit, automatiquement ou non, au moment de l'arrêt de la machine.

C'est ce dernier procédé, le plus simple, qui est le plus fréquemment adopté. Il faut avoir soin, quand on y a recours, de faire permuter de temps en temps les accumulateurs supplémentaires avec les autres, sans quoi, leur mise en service étant moins fréquente que celle des éléments voisins, ils serait exposés à des surcharges nuisibles à leur bonne conservation.

Dans tous les cas, il résulte de l'emploi des accumulateurs comme volants une perte de travail considérable, qui diminue notablement le rendement de l'installation. Il ne faut y avoir recours que lorsqu'on ne peut adopter une autre solution.

115. Augmentation de puissance d'une batterie d'accumulateurs. — Lorsqu'on installe une batterie d'accumulateurs, il est toujours préférable de lui prévoir des dimensions plus fortes que celles qui sont théoriquement nécessaires à la production du débit dont on a besoin pour alimenter la canalisation qu'elle doit desservir. Si l'on veut ajouter ensuite quelques lampes supplémentaires, on peut alors le faire sans inconvénient, à condition de ne pas dépasser les limites que nous avons fixées.

Le rendement des accumulateurs est en effet aussi bon lorsqu'on n'utilise pas leur capacité totale que lorsqu'on les fait fonctionner à pleine marche. Il est même meilleur dans certaines limites.

Il peut arriver que l'on soit conduit, par suite d'installations nouvelles, à demander à une batterie d'accumulateurs plus de courant qu'elle ne peut en fournir sans danger pour sa bonne conservation. Il faut dans ce cas installer une deuxième batterie semblable à la première et

lui constituer un réseau spécial. Si toutefois les conducteurs principaux de la canalisation sont suffisants pour livrer passage à un courant égal à celui que devront fournir les deux batteries réunies, il peut y avoir intérêt, au point de vue de l'économie des fils et de la simplicité de la distribution, à réunir en quantité les deux séries d'accumulateurs, comme on l'a vu pour les dynamos (nº 73).

Cette réunion peut se faire sans aucune difficulté et sans diminution dans le rendement des appareils. Il faut seulement prendre certaines précautions spéciales au moment de la mise en service de la nouvelle batterie.

116. Accouplement en quantité. — Pour associer en quantité deux séries d'accumulateurs, il faut, comme nous l'avons vu (nº 36), réunir ensemble d'une part les pôles positifs et d'autre part les pôles négatifs extrêmes, et les mettre en communication respectivement avec le fil positif et le fil négatif de la dynamo.

Si l'on mettait immédiatement en contact, sans précaution, les pôles positifs et les pôles négatifs extrêmes des séries d'accumulateurs, comme l'indique la figure 29, la batterie la plus ancienne, par exemple celle qui porte le nº 1, ayant par elle-même une force électromotrice assez élevée, chargerait immédiatement la batterie nº 2. A son action viendrait se joindre le courant de la dynamo qui se répartit à peu près également entre les deux batteries. Or la résistance du circuit formé par les deux batteries d'accumulateurs est très faible et tout au plus égale à 0,5 ohm pour deux batteries de 26 éléments de 10 kilogs, par exemple (nº 86), y compris la résistance des fils qui les relient. Les accumulateurs de la série nº 1 ont à la décharge une force électromotrice de 1,9 volt chacun, soit 49,4 volts pour les 26. Quand le montage est terminé, les accumulateurs de la série nº 2 ne possèdent guère plus qu'une force élec-

tromotrice de 1,4 volt chacun, soit 36,4 volts pour l'ensemble de la batterie, même s'ils ont été soumis au préalable à l'opération de la formation. En appliquant la loi

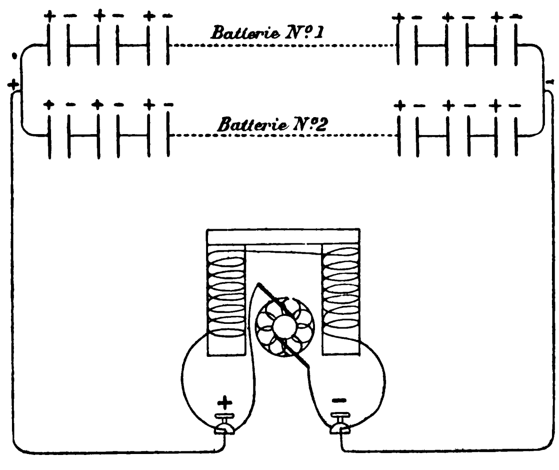


Fig. 29.

d'Ohm (n° 22) au circuit constitué par les deux batteries, on obtient l'équation :

$$49,4 - 36,4 = i \times 0,5$$

d'où

$$i = 26 \text{ ampères.}$$

On voit par là que jusqu'au moment où un certain équilibre se serait établi, la batterie n° 1 se déchargerait très rapidement dans la batterie n° 2, en donnant naissance à un courant susceptible de détériorer à la fois les deux batteries. Le courant de charge provenant de la dynamo en s'ajoutant au précédent ne ferait qu'augmenter son action nuisible sur la batterie n° 2.

Afin d'éviter ces inconvénients, il ne faut mettre en com-

munication les pôles des deux batteries qu'au moment où la première n'est plus susceptible de se décharger brusquement en envoyant dans la seconde un courant trop intense. Pour y arriver, on se sert d'un commutateur à trois directions permettant d'envoyer le courant de la dynamo à volonté soit dans l'une, soit dans l'autre des deux batteries, soit dans les deux à la fois, et l'on commence par les charger séparément.

On charge une partie de la journée le n° 1 et l'on s'en sert ensuite pour l'éclairage comme d'habitude, en réservant tout le temps disponible pour la charge de la batterie n° 2, afin de l'amener aussi vite que possible à une tension assez forte pour pouvoir l'accoupler au n° 1. Quand on croit y être parvenu, on tourne le commutateur de manière à charger ensemble les deux groupes, et l'on observe séparément l'intensité des courants qui arrivent aux deux batteries au moyen d'un ampèremètre intercalé alternativement dans les deux circuits ; si l'on voit que cette intensité est trop élevée pour la batterie n° 2, on continue à la charger séparément jusqu'au moment où l'on atteint une valeur admissible. A partir de ce moment, on peut charger les deux batteries à la fois. Au bout de très peu de temps, le courant s'uniformise et il se partage également entre les deux séries. Ainsi, dans l'exemple cité plus haut, de 2 batteries de 26 éléments de 10 kilogs, on pourrait réunir en quantité les deux séries, dès que le courant passant dans la batterie n° 2 ne dépasserait plus 10 ou 12 ampères.

Il peut arriver par suite d'irrégularités inexpliquées, soit dans la résistance intérieure des éléments, soit dans celle des fils qui réunissent leurs pôles extrêmes aux conducteurs de charge de la dynamo, que le courant ne se partage pas d'une façon rigoureusement égale, tout en ayant des valeurs admissibles dans chaque série au point de vue de la conservation des éléments. Pour égaliser cette diffé-

rence, il suffit d'intercaler une résistance supplémentaire dans le fil qui communique avec le pôle du groupe où passe le courant le plus intense. On détermine cette résistance supplémentaire d'après un calcul analogue à celui qui est indiqué dans l'exemple du n° 29.

En prenant ces précautions très simples en pratique, on obtient rapidement une bonne marche régulière des deux batteries qui ont été groupées.

QUATRIÈME PARTIE

Distribution de l'électricité pour l'éclairage.

CHAPITRE I.

PHOTOMÉTRIE.

117. Unités de lumière. Carcel. — Autrefois on se servait, pour se rendre compte de l'intensité lumineuse d'un foyer, d'un terme de comparaison appelé *carcel*. Le carcel, défini par Dumas et Regnault, a été la seule unité employée en France pendant un demi-siècle, et l'on y rapporte encore aujourd'hui la plupart des mesures lumineuses. C'est la quantité de lumière émise par une lampe brûlant à l'heure 42 grammes d'huile de colza pure, dans des conditions spéciales de dimensions, de longueur de flamme, etc.

118. Etalon de M. Violle. — La conférence internationale d'électricité a adopté, il y a une dizaine d'années, l'*étalon* de lumière proposé par M. Violle ; cette nouvelle unité d'intensité lumineuse est la quantité de lumière émise par 1 centimètre carré de platine fondu, à la température de solidification.



Cette unité pratique vaut environ 2 carcels (exactement 2,080 carcels).

119. Bougie décimale. — Pour mesurer des intensités lumineuses plus faibles, on se sert d'une unité plus petite, la *bougie décimale,* valant $\frac{1}{20}$ de l'étalon de M. Violle.

Il en résulte que le bec carcel vaut environ 10 bougies décimales.

120. Mesures étrangères. — Dans les pays étrangers, on emploie d'autres unités, par exemple la candle anglaise, et la kerze allemande, valant un peu moins d'une bougie décimale et demie ; mais ces étalons, définis par la combustion de bougies dans certaines conditions, sont bien moins fixes que les mesures françaises.

121. Unités pratiques. — En France, on désigne pratiquement les intensités lumineuses en carcels pour les foyers produisant une forte lumière, par exemple les lampes à arc, et en bougies décimales pour les becs moins puissants, tels que les lampes à incandescence.

Comme points de repère, on peut comparer l'éclat d'un carcel à celui d'un bec de gaz Bengel brûlant 105 litres à l'heure.

Une lampe à incandescence de 16 bougies éclaire à peu près autant qu'un bec Bengel brûlant 180 litres à l'heure.

La lumière émise par deux bougies stéariques ordinaires vaut environ trois bougies décimales.

122. Photomètres. — Pour évaluer l'intensité absolue du pouvoir éclairant d'un foyer, on le compare, en pratique, à une lampe bien étalonnée, dont l'intensité lumineuse est par suite bien connue.

L'éclairement produit par une lumière sur un écran est inversement proportionnel au carré de la distance du foyer à l'écran. Si donc deux lampes produisent un même éclairement sur un écran, leur pouvoir éclairant sera inversement proportionnel au carré de leur distance à la surface considérée. On se fonde sur cette propriété pour apprécier le rapport des intensités lumineuses de deux foyers, et l'on emploie à cet effet un petit appareil appelé *photomètre*. Le plus simple est le photomètre de Bunsen, qui se compose d'un écran en papier blanc placé entre les deux foyers à expérimenter et légèrement incliné par rapport à un plan perpendiculaire à la ligne qui joint leurs centres. On fait sur la feuille de papier trois petites taches d'huile, l'une au milieu, les deux autres de chaque côté, et l'on déplace l'écran jusqu'au moment où l'on ne voit plus la tache du milieu, tandis que les deux voisines paraissent l'une claire et l'autre sombre. A ce moment le centre de l'écran est également éclairé sur ses deux faces ; pour avoir le rapport des intensités lumineuses des deux lampes, il suffit de mesurer leurs distances au centre de l'écran, et d'élever au carré le quotient ainsi obtenu.

Pratiquement, on se sert dans un laboratoire, comme étalon, de la lampe à huile de Dumas et Regnault dont il a été question plus haut, et qui donne le carcel ; mais, pour des mesures extérieures, il est commode d'employer une petite lampe à incandescence alimentée par quelques accumulateurs d'un petit modèle. Comme nous l'avons vu, la force électromotrice des accumulateurs reste constante pendant une très grande partie de leur décharge. La lampe à incandescence aura donc très sensiblement le même éclat pendant toute cette période. On a soin, d'avance, d'étalonner au laboratoire la lampe, brûlant dans les conditions de l'expérience à effectuer, et l'on peut ensuite s'en servir comme terme de comparaison pour des mesures pratiques et rapides.

123. Eclairement. — En général, on exprime l'éclairement d'une surface en bougies-mètre : c'est la quantité de lumière répandue par un foyer ayant une intensité d'une bougie décimale et placé à un mètre de distance de l'écran à éclairer. Naturellement, pour produire un éclairement de n bougies-mètre, on pourra employer un foyer de n bougies placé à 1 mètre de distance, ou un foyer de $4\,n$ bougies placé à 2 mètres de distance, ou un foyer de p^2n bougies placé à p mètres de distance, puisque l'éclairement produit par une lampe sur un écran est inversement proportionnel au carré de son éloignement.

En pratique, pour éclairer suffisamment un panneau, une table de travail, etc., il faut environ un éclairage de 30 bougies-mètre ; pour qu'un local soit bien éclairé, il faut en un point quelconque de la salle un éclairage de 20 à 30 bougies mètre. (M. Hospitalier.)

124. Emploi des foyers électriques. — On emploie généralement les lampes à incandescence pour les petites salles et les appartements, ou lorsqu'on veut éclairer certains points d'un plus grand local d'une façon toute spéciale, en laissant au restant de la pièce une lumière moins intense. On se sert au contraire des lampes à arc pour éclairer de grands espaces, des cours, des halles de chargement, de grands ateliers.

Nous verrons plus loin, aux chapîtres qui traitent des lampes à incandescence et des lampes à arc, quelles sont les meilleures dispositions à adopter dans les différents cas où l'on utilise ces foyers lumineux.

CHAPITRE II.

ÉCLAIRAGE PAR LAMPES A INCANDESCENCE.

125. Propriétés des lampes à incandescence. — Les *lampes à incandescence* sont, comme on le sait, formées par un fil de charbon emprisonné dans une ampoule de verre mince scellée dans un *culot* de terre réfractaire ou d'autre matière isolante. Les deux extrémités du charbon sont soudées à des fils de platine qui aboutissent à deux épanouissements métalliques affleurant la partie inférieure du culot.

On place les lampes dans des *douilles* en cuivre munies de deux contacts à ressorts, auxquels on attache les fils positif et négatif des conducteurs, de sorte qu'en introduisant les lampes dans leurs douilles, les épanouissements des fils viennent toucher les contacts et que le courant peut s'établir. Ce mode de montage s'appelle montage à baïonnette. On emploie quelquefois aussi le montage à vis, dans lequel le courant est amené au culot de la lampe par des spirales conductrices.

Il faut avoir soin, en disposant les lampes dans leurs douilles, de ne pas trop presser sur l'ampoule de verre très mince, dans l'intérieur de laquelle le vide est fait, car elle se brise en miettes avec la plus grande facilité.

On construit les lampes à incandescence de manière à fournir une lumière déterminée lorsqu'on les fait traverser par un courant bien défini. Il existe des lampes gra-

duées à peu près pour tous les voltages depuis 20 ou 30 volts jusqu'à 200 volts et même plus. Le filament de charbon est établi par le constructeur, de manière à résister convenablement à l'intensité du courant qui le traverse d'une façon permanente.

On peut employer les lampes à incandescence aussi bien avec les courants alternatifs qu'avec les courants continus.

126. Energie employée pour l'éclairage par lampes à incandescence. — Les lampes à incandescence absorbent en général 3,5 watts par bougie. Ainsi une lampe de 16 bougies demandera

$$16 \times 3{,}5 = 56 \text{ watts en moyenne,}$$

ce chiffre variant très peu avec la force électromotrice, dans les lampes de construction ordinaire. Par exemple, une lampe de 16 bougies fonctionnant sous une différence de potentiel de 70 volts absorbera

$$\frac{56}{70} = 0{,}8 \text{ ampère}$$

d'après la formule $W = EI$ (nº 32). Si elle est construite pour un voltage de 50 volts, elle absorbera

$$\frac{56}{50} = 1{,}12 \text{ ampère.}$$

127. Résistance des lampes. — La résistance des lampes est déterminée par les conditions dans lesquelles elles doivent fonctionner. D'après la loi d'Ohm $E = I\,R$ (nº 22), la résistance d'une lampe est le quotient de la force électromotrice par l'intensité du courant qui la traverse. Ainsi une lampe de 16 bougies, qui consomme 0,8 ampère lorsqu'elle fonctionne à 70 volts, présente *au rouge* une résistance égale à

$$\frac{70}{0,8} = 87,5 \text{ ohms.}$$

La résistance d'une lampe à froid est de beaucoup supérieure à celle de la même lampe à chaud ; elle peut atteindre une valeur égale à près du double de la précédente.

128. Variation du courant. Durée des lampes. — Lorsque la force électromotrice de la machine varie, l'intensité du courant qui traverse une lampe varie dans le même sens, puisque la résistance du fil est constante.

Si l'on part d'un voltage nul, et qu'on l'augmente peu à

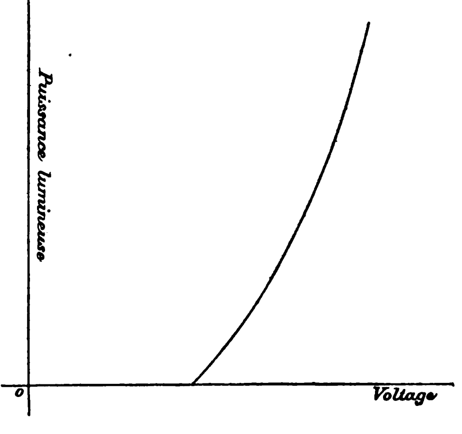


Fig. 30.

peu, le filament commence par rougir bien avant le moment où l'on atteint la différence de potentiel indiquée pour la marche normale de la lampe ; l'éclat du foyer augmente ensuite très rapidement et d'une façon continue avec la différence de potentiel. Si l'on dépasse le voltage pour lequel la lampe est construite, l'éclat augmente de plus en plus, comme l'indique la courbe de la figure 30 ; en exagérant le vol-

tage, il finit par dépasser très notablement le nombre de bougies indiqué par le constructeur, jusqu'au moment où le filament se rompt.

On peut donc, avec une lampe déterminée, obtenir une intensité lumineuse très variable ; aussi faut-il se conformer au voltage spécifié par le constructeur. On peut admettre une différence de 1 à 2 pour 100 en plus ou en moins sans grand inconvénient. Dans les conditions normales, une bonne lampe doit durer 1000 heures au moins, au bout desquelles le filament de charbon se casse brusquement, par suite d'une volatilisation lente du charbon, qui use peu à peu le filament, surtout aux points où il peut présenter un léger défaut d'homogénéité. C'est par suite de cette volatilisation que la lampe se ternit après quelques centaines d'heures de marche, et que son pouvoir éclairant diminue graduellement à partir de ce moment jusqu'à la fin de sa *vie*, bien qu'entre ses bornes la différence de potentiel soit restée constante.

Si l'on *force* une lampe, c'est-à-dire si l'on dépasse le voltage pour lequel elle est construite, on diminue beaucoup sa durée, et inversement.

129. Intensité lumineuse des lampes. — L'intensité lumineuse d'une lampe de 16 bougies, la plus employée dans la pratique, peut se comparer, d'après ce que nous avons vu (n° 121), à celle d'un bec de gaz Bengel brûlant 180 litres à l'heure. — Une lampe de 10 bougies éclaire à peu près autant qu'un bec papillon brûlant 120 litres à l'heure.

130. Disposition et emploi des lampes. — D'après ce qui précède, on emploiera pour éclairer une petite pièce ou des ateliers une lampe de 16 ou de 10 bougies en remplacement d'un bec Bengel ordinaire ou d'un petit bec pa-

pillon. Lorsqu'on veut éclairer une grande pièce, on emploie plusieurs lampes à incandescence réunies de manière à former un lustre suspendu au milieu de la chambre ; pour de très grandes salles, il vaut mieux diviser la lumière en répartissant les lampes en plusieurs groupes, fixés en différents points des murs.

Pour obtenir un bon éclairage, il faut que la somme totale du nombre de bougies produites par les lampes à incandescence contenues dans la pièce soit au moins égale à une fois et demie la surface de la salle exprimée en mètres carrés.

Ainsi un salon de 7 mètres de longueur sur 6 mètres de largeur, soit de 42 mètres carrés, peut être éclairé par 63 bougies, soit par exemple par 4 lampes de 16 bougies ou par 6 lampes de 10 bougies. On obtiendra le meilleur résultat en disposant au milieu de la pièce un lustre de 4 lampes de 10 bougies, et deux appliques de 10 bougies sur les murs, aux points que l'on a intérêt à éclairer d'un façon spéciale, près des glaces, par exemple.

Ces chiffres s'appliquent à des pièces de hauteur

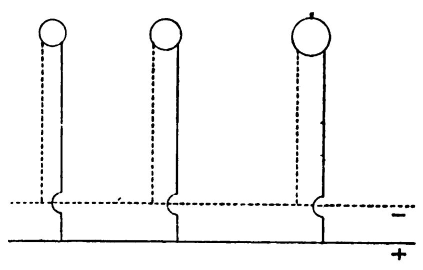


Fig. 31.

moyenne, et dont les murs sont peints en blanc ou recouverts de tentures claires. Si les murailles sont de couleur sombre, s'il s'agit d'éclairer des salles très hautes, il faut augmenter le nombre des lampes, jusqu'à un maximum de deux bougies et demie à trois bougies par mètre carré.

En général, ces données suffisent pour permettre l'établissement d'un projet d'éclairage par lampe à incandescence. Au chapitre qui traite des lampes à arc (nº 161), on indiquera le moyen de déterminer rigoureusement l'éclairement d'une surface d'après la puissance et la disposition des foyers lumineux à l'influence desquels elle est soumise.

131. Montage des lampes en dérivation. — Les lampes à incandescence ne sont pas, en général, montées en série, car, à moins de précautions spéciales, l'extinction de l'une d'entre elles, coupant le circuit, entraîne l'extinction de toutes les autres. Lorsqu'on les monte en série, il faut y adapter un dispositif faisant passer le courant, en cas de rupture du filament de charbon, dans une résistance égale à celle de la lampe à chaud. Il existe des dispositions automatiques remplissant ce but et fonctionnement convenablement ; mais pour les petites installations, il est préférable de monter les lampes en dérivation.

Pour réaliser ce montage, on fait filer deux conducteurs depuis la source d'électricité jusqu'à la dernière lampe, l'un partant de la borne positive, l'autre de la borne négative. Sur leur trajet, lorsqu'on veut placer une lampe, on branche un fil sur le conducteur positif, un autre sur le conducteur négatif, et on fixe leurs extrémités à la douille de la lampe. On continue ainsi jusqu'à l'extrémité de la conduite, comme l'indique la figure 31.

Lorsqu'il s'agit de distribuer la lumière à deux groupes de points éloignés l'un de l'autre dans des directions différentes, il est plus avantageux de séparer dès l'origine chaque conducteur principal en plusieurs conducteurs secondaires, sur lesquels on branche chaque lampe en dérivation, comme l'indique la figure 32. L'examen de ce schéma montre que chaque lampe est encore située en dérivation par rapport à la conduite générale partant des bornes de la source (nº 37).

On peut aussi installer deux conducteurs principaux sur lesquels on place en dérivation, en des points quelconques de leur trajet, des conducteurs secondaires alimentant des groupes de lampes également en dérivation.

Il est impossible de formuler de règle fixe pour ces dispositions. On s'inspire dans chaque cas particulier des conditions locales et l'on choisit le mode le plus économique, en calculant le diamètre des fils conducteurs comme nous allons l'indiquer.

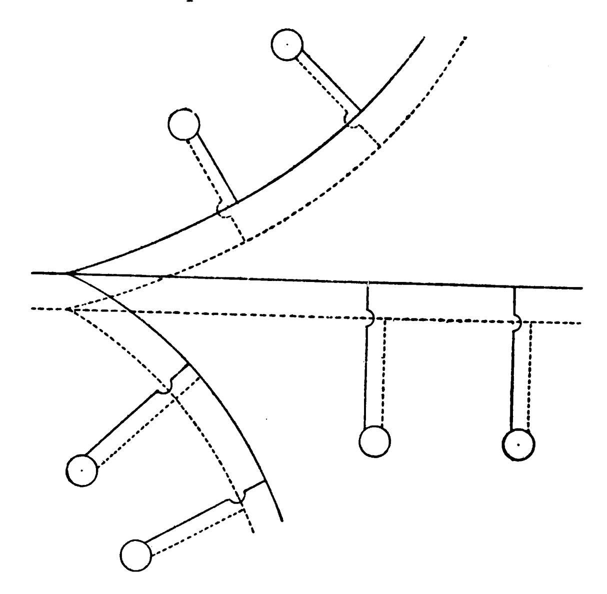


Fig. 32.

132. Conducteurs nus ou isolés. — On emploie en général, pour les conducteurs, du cuivre rouge industriellement pur. Si le conducteur passe à l'air libre, sans pénétrer dans des appartements ou des ateliers, on peut employer sans inconvénient un fil nu ; généralement on se

sert de fil étamé, qui est à peu près inoxydable. Il faut isoler les fils nus des murs par des supports munis d'isolateurs en porcelaine. Il est bon de terminer la partie inférieure des isolateurs par un angle vif, de manière à empêcher, en cas de pluie, l'eau de remonter à l'intérieur de la cuvette et d'établir une communication fortuite avec le support.

Si, au contraire, un conducteur passe à l'intérieur d'une maison, il faut employer du fil de cuivre recouvert de coton, de caoutchouc ou de gutta-percha ; il est nécessaire de se servir de fils d'autant mieux isolés qu'on peut les atteindre plus facilement ou qu'ils sont plus sujets à des chocs. Dans une usine, cette précaution de n'utiliser que des fils isolés à l'intérieur des ateliers est tout à fait indispensable. Dans un appartement, non seulement on isole les fils, mais on les protège contre tout choc ou tout faux contact en les faisant passer, soit dans des rainures creusées à l'intérieur de moulures en bois, soit dans des tubes fabriqués en substance isolante. Ces moulures ou ces tubes sont dissimulés dans les corniches des plafonds, dans les cadres des lambris, contre les chambranles des portes. L'emploi de ces organes de protection est surtout utile dans les endroits où les fils sont à portée de la main ; des enfants, des personnes inconscientes ou malveillantes seraient en effet susceptibles de les déranger et d'apporter ainsi une grande perturbation dans le service, indépendamment des accidents qui pourraient en résulter.

Lorsqu'une conduite doit passer sous terre ou dans l'eau, il faut se servir de fil bien isolé et recouvert d'une enveloppe de plomb.

On emploie du fil de cuivre jusqu'à un diamètre de 3 ou 4 millimètres ; au-delà, il vaut mieux utiliser des câbles, qui sont plus maniables et plus faciles à poser. On fabrique des câbles nus, plus ou moins isolés et sous plomb comme les fils ordinaires.

133. Limite maxima de l'intensité. — La perte de charge qui résulte du passage d'un courant dans un conducteur correspond à une perte d'électricité qui se transforme en chaleur, et il en résulte pour les fils une élévation de température capable de faire fondre leurs enduits isolants et même de provoquer des incendies.

La quantité de chaleur correspondant à un travail électrique déterminé, c'est-à-dire dans ce cas particulier à la fraction du courant dépensée sous forme de chaleur, est proportionnelle à la section du conducteur. L'augmentation de température résultant de cette transformation d'électricité en chaleur, serait très élevée si le fil était parfaitement isolé au point de vue calorifique. Heureusement, les conducteurs perdent une grande partie de cette chaleur par *rayonnement* vers les corps environnants, et par *convection,* c'est-à-dire par transmission directe de chaleur à l'air ambiant.

On conçoit donc qu'un fil se refroidira d'autant plus vite qu'il est moins protégé, qu'il se trouve placé dans un milieu plus agité et qu'il est plus fin. Un fil nu, extérieur, se refroidira beaucoup plus vite qu'un fil recouvert et placé sous moulure.

Afin d'éviter l'échauffement exagéré des fils, on fixe une limite maxima à la valeur de l'intensité du courant qui doit les traverser. Cette intensité dépend du diamètre du conducteur et de son isolement. En pratique, il est prudent de se limiter aux chiffres suivants :

1° Fil nu extérieur.

DIAMÈTRES en mm	SECTIONS en mm²	LIMITE SUPÉRIEURE DU COURANT	
		par mm²	totale
0 à 5 mm	0 à 20 mm²	6 ampères	0 à 120 ampèr.
5 à 10	20 à 80	4	120 à 320
10 à 15	80 à 180	3	320 à 540
au-dessus de 20	au-dessus de 180	2	au-dessus de 540

2° Fil intérieur isolé.

DIAMÈTRES en mm	SECTIONS en mm²	LIMITE SUPÉRIEURE DU COURANT par mm²	totale
0 à 5 mm	0 à 20 mm²	3 ampères	0 à 60 ampèr.
5 à 10	20 à 80	2	60 à 160
10 à 20	80 à 315	1,5	160 à 470
au-dessus de 20	au-dessus de 315	1	au-dessus de 470

Les chiffres contenus dans ces tableaux sont des limites supérieures pour le courant, et il arrive souvent dans la pratique qu'on se fixe des intensités maxima moins fortes que celles qui viennent d'être mentionnées.

Quand on a calculé une ligne par les considérations de perte de charge sur lesquelles nous nous étendrons plus loin, il faut toujours vérifier que l'intensité dans chaque conducteur ne dépasse pas les limites indiquées ci-dessus.

134. Calcul d'une installation de lampes à incandescence. — Pour établir un projet d'installation de lampes à incandescence, il faut d'abord dresser un plan indiquant la position de chaque lampe, de manière à pouvoir calculer les longueurs des conducteurs, y compris leurs détours, les portions de fils employées pour rejoindre les commutateurs et interrupteurs, etc.

On choisit généralement comme données le voltage de la dynamo et celui des lampes, en admettant une perte de charge de 2 à 5 o/o pour les petites installations. On en déduit l'intensité maxima du courant et les diamètres des conducteurs, comme nous allons le voir.

Le voltage de la dynamo est très variable, et absolument facultatif ; nous indiquerons plus loin les considérations d'après lesquelles on le choisit.

Le calcul de l'établissement de toute distribution repose sur les deux principes suivants :

1° On détermine les conducteurs et les résistances intercalaires, de telle sorte que la différence de potentiel aux bornes des lampes soit égale à celle pour laquelle elles sont établies.

2° Les sections des fils doivent être suffisantes pour éviter que l'échauffement produit dans les conducteurs par le passage du courant n'atteigne une limite plus élevée que celle qui peut être admise sans inconvénient dans la pratique (n° 133).

135. Exemple d'éclairage par dynamo. — Pour simplifier, supposons d'abord que nous n'ayons qu'une seule lampe de 20 bougies, tarée à 100 volts (aux bornes de la lampe), à allumer au moyen d'une dynamo marchant à 110 volts, et que la longueur totale de fil soit de 150 mètres aller et retour, depuis les bornes de la dynamo jusqu'à la lampe.

136. Calcul de l'intensité du courant et du diamètre des fils. — L'énergie absorbée par bougie est de 3,5 watts (n° 126). Donc la lampe de 20 bougies absorbera

$$20 \times 3{,}5 = 70 \text{ watts} ;$$

la différence de potentiel étant de 100 volts, l'intensité nécessaire sera le quotient du nombre de watts par le nombre de volts d'après la formule $W = EI$ (n° 32).

$$I = \frac{70}{100} = 0{,}70 \text{ ampère.}$$

Appliquons la loi d'Ohm $\Sigma E = \Sigma IR$ (n° 22) au circuit formé par la dynamo, la ligne et la lampe. Le terme ΣE comprend la force électromotrice de la machine, soit 110 volts ; plus la différence de potentiel absorbée par la lampe,

mais précédée du signe — (d'après la remarque du n° 24), soit — 100 volts. Le terme Σ I R s'applique à la ligne ; I est l'intensité du courant, soit 0,70 ampère, et R la résistance totale du fil. Nous avons par suite :

$$110 - 100 = 0{,}70 \times R$$

d'où

$$R = \frac{10}{0{,}70} = 14{,}28 \text{ ohms.}$$

Ces 10 volts perdus dans le conducteur et transformés en chaleur constituent la *perte de charge* de la ligne, ou la *perte en ligne*. Cette différence, qui existe entre la force électromotrice de la source et la chute de potentiel utilisée dans les appareils récepteurs de l'énergie électrique, correspond, en hydraulique, à la perte de charge subie par un fluide, par suite du frottement qu'il éprouve en se mouvant dans une conduite.

La longueur du conducteur est de 150 mètres ou 15 000 centimètres. En appelant

s la section en centimètres carrés,
α le coefficient de résistance spécifique du cuivre,

sa résistance totale R, en ohms, sera donnée par la formule :

$$R = \frac{\alpha l}{s} 10^{-6} \text{ (n° 30).}$$

On a

$\alpha = 1{,}6$ environ pour du cuivre pur, à 0° centigrade;
$l = 15\,000$ centimètres ;
$R = 14{,}28$ ohms ;

d'où

$$S = \frac{1{,}6 \times 15\,000}{14{,}28 \times 1\,000\,000} = 0{,}001680 \text{ centimètre carré, ou}$$

0,1680 millimètre carré, ce qui correspond à un fil de 0,5 millimètre de diamètre.

Le fil de 0,5 millimètre de diamètre a une section de 0,1963 millimètre carré (n° 312). Si l'on emploie un conducteur bien isolé, l'intensité maxima du courant qui doit le traverser, à raison de 3 ampères par millimètre carré (n° 133), sera 0,58 ampère. Le conducteur sera donc insuffisant ; si, au contraire, le fil est nu et extérieur, un diamètre de 0,5 millimètre suffira, puisqu'on peut admettre 6 ampères par millimètre carré.

En général, on n'emploie guère de fil aussi fin, même pour une seule lampe. Pratiquement, on utilise les diamètres de fils portés aux catalogues du fournisseur auquel on s'adresse ; ces fils sont échelonnés et varient à peu près par millimètre ou demi-millimètre. Il est bon, en général, de ne pas employer de fils d'un diamètre inférieur à 1 millimètre.

Supposons que la série des fils dont on dispose comprenne des conducteurs jaugés tous à un nombre exact de millimètres, le plus fin étant de 1 millimètre. Ce fil, dont la section est de 0,79 millimètre carré, est plus que suffisant pour l'intensité de 0,70 ampère qui nous est nécessaire. Arrêtons-nous donc à ce diamètre de 1 millimètre. La résistance de la ligne de 150 mètres de fil de 1 millimètre sera donnée par la formule :

$$R = \frac{\alpha l}{s}\, 10^{-6} = \frac{1,6 \times 15\,000}{0,0079 \times 1\,000\,000} = 3,04 \text{ ohms.}$$

La perte de charge, dans une ligne dont la résistance est de 3,04 ohms et qui est traversée par un courant de 0,70 ampère, atteindra :

$$E = IR = 3,04 \times 0,7 = 2,13 \text{ volts.}$$

La différence de potentiel aux bornes de la lampe serait par suite de

$$110 - 2,13 = 107,87 \text{ volts,}$$

valeur inadmissible pour des lampes de 100 volts.

137. Résistance de réglage. — Pour régler à 100 volts la différence de potentiel aux bornes de la lampe, il faut introduire dans le circuit une résistance supplémentaire que nous appellerons *résistance de réglage,* destinée à produire la chute de potentiel demandée, soit 7,87 volts. Le moyen le plus simple consiste à intercaler dans la ligne une petite spirale de fil de ferro-nickel ou de maillechort, dont on calcule la longueur en se basant sur les mêmes principes que précédemment. Etablissons le calcul pour une résistance de ferro-nickel. Le coefficient de résistance spécifique de cet alliage est

$$\alpha = 78{,}3 \text{ (n}^{o}\text{ 30)}$$

par suite la résistance d'un mètre de fil de ferro-nickel de 1 millimètre de diamètre sera :

$$R = \frac{\alpha\, l}{s}\, 10^{-6} = \frac{78{,}3 \times 100}{0{,}0079 \times 1\,000\,000} = 0{,}997 \text{ ohms,}$$

et la chute de potentiel déterminée par un courant de 0,70 ampère dans 1 mètre de ce fil atteindra

$$E = IR = 0{,}70 \times 0{,}99 = 0{,}70 \text{ volt;}$$

la longueur de conducteur nécessaire sera donc

$$\frac{7{,}87}{0{,}7} = 11{,}30 \text{ mètres environ.}$$

La résistance de 0,997 ohm par mètre de fil est celle que présente le conducteur à 0°. En pratique, la température de ces petits rhéostats atteint 20° environ. La résistance kilométrique des fils de ferro-nickel à 20° est indiquée au tableau n° 314. D'autre part, la température des fils de cuivre conducteurs atteint en moyenne 15° et le métal avec lequel ils sont tréfilés contient quelques impuretés. Ces deux conditions modifient également leur résistance, comme nous le verrons au n° suivant.

Au lieu de fil de ferro-nickel, on pourrait employer des

fils de maillechort pour construire les résistances de réglage, mais la résistance spécifique du maillechort étant moins élevée que celle du ferro-nickel ($\alpha = 20,760$ au lieu de 78,300) (n° 30), son emploi conduit à des longueurs de fil plus considérables ; aussi y a-t-il avantage, en général, à se servir de ferro-nikel, et en conseillerons-nous l'emploi dans tous les exemples que nous aurons à examiner.

En résumé, pour alimenter une lampe de 16 bougies à 100 volts il faudra un courant de 0,70 ampère. Si la source d'électricité est une dynamo à 110 volts, et si le conducteur a 150 mètres de longueur, on pourra employer un fil de cuivre de 1 millimètre de diamètre ; le voltage exact de 100 volts sera assuré à la lampe grâce à l'introduction d'une résistance formée par un fil de ferro-nickel de 11,30 mètres de longueur et de 1 millimètre de diamètre.

L'addition d'une petite spirale de ferro-nickel dans les conducteurs est extrêmement facile à faire, et son prix de revient est peu élevé. Il est très simple de la calculer d'après les indications du tableau n° 314, qui donne les résistances kilométriques des fils de ferro-nickel pour les différents diamètres généralement usités. Dans un éclairage important, on régularise ainsi à peu de frais le voltage aux bornes des lampes, ce qui en augmente la durée tout en assurant l'uniformité de la lumière.

Nous insistons tout particulièrement sur l'utilité de ces résistances de réglage pour les installations de lampes à incandescence, bien qu'on n'en conseille généralement l'emploi que pour les lampes à arc, car elles rendent de très bons services dans la pratique.

Dans un atelier, il n'y a aucun inconvénient à placer une spirale de métal nu, hors de la portée de la main, près du plafond, par exemple. Dans un appartement où tous les fils sont cachés par des moulures, on laisse le fil développé, mais pour l'isoler de la boiserie, il est très sim-

ple de l'introduire dans un petit tube de caoutchouc très fin, qui produira un excellent isolement. On le manie alors tout aussi facilement qu'un conducteur isolé ordinaire; il suffit de prendre les précautions nécessaires pour bien relier ses deux extrémités au fil de cuivre dans lequel il est intercalé.

138. Problème général. — Le problème général de l'installation des lampes à incandescence se traite en appliquant des raisonnements identiques à ceux de l'exemple précédent. Voici une donnée qui renferme les cas les plus complexes.

Il s'agit d'installer 100 lampes à incandescence disposées en cinq groupes A B C D E (fig. 33); le groupe *a* A de 20 lampes de 16 bougies est branché à 50 mètres de la dynamo, le groupe *b* B, de 50 lampes de 10 bougies, à 200

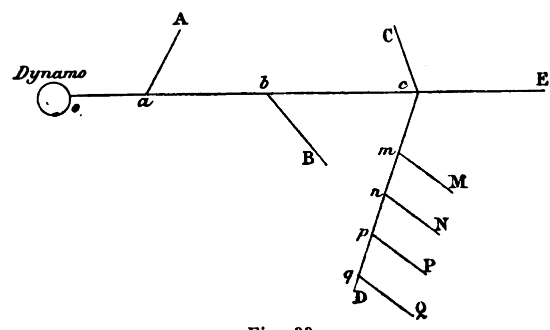


Fig. 33.

Oa = 50m. — ab = 200m. — bc = 100m. — cm = 10m. — mn = 10m. — np = 10m. — pq = 10m. — qD = 30m.

mètres du précédent; les groupes *c* C de 10 lampes, *c* D de 5 lampes et *c* E de 15 lampes de 20 bougies, partent du même point *c* à 100 mètres du groupe B. Les 5 lampes du groupe D sont branchées de 10 en 10 mètres sur la con-

duite c D, à partir du point c, en mM, nN, pP, qQ, qD. Les longueurs de ces tronçons mM, nN, pP, qQ, qD sont de 30 mètres.

Comme dans l'exemple précédent, les lampes sont tarées à 100 volts et la force électromotrice de la dynamo est de 110 volts. Quels doivent être les diamètres des conducteurs et l'intensité du courant de la dynamo?

1° Intensité du courant.

Les lampes exigent 3,5 watts par bougie (n° 126) ; donc des lampes de 10 bougies demandent

$$10 \times 3{,}5 = 35 \text{ watts ;}$$

les lampes de 16 bougies demandent

$$16 \times 3{,}5 = 56 \text{ watts ;}$$

et les lampes de 20 bougies demandent

$$20 \times 3{,}5 = 70 \text{ watts.}$$

La différence de potentiel aux bornes des lampes étant de 100 volts, les intensités respectives seront (n° 32) :

$$I = \frac{W}{E} = \frac{35}{100} = 0{,}35 \text{ ampère pour les lampes de 10 bougies;}$$

$$I = \frac{56}{100} = 0{,}56 \text{ ampère pour les lampes de 16 bougies;}$$

$$\text{et } I = \frac{70}{100} = 0{,}70 \text{ ampère pour les lampes de 20 bougies.}$$

Les lampes étant montées en dérivation, l'intensité du courant qui alimente deux lampes est égale à la somme des intensités des courants de chacune des lampes, d'après la loi de Kirchhoff (n° 23) qui donne

$$i - i_1 - i_2 = 0 \quad \text{ou} \quad i = i_1 + i_2 \text{ (fig. 34).}$$

De proche en proche, on verrait que l'intensité du courant d'un conducteur qui alimente plusieurs lampes est égale à la somme des intensités du courant de toutes les dérivations qui aboutissent directement ou indirectement à ce conducteur. Donc les intensités des courants qui pas-

sent par les conducteurs des groupes A B C D E sont les suivantes :

Groupe A	$20 \times 0{,}56 =$	11,2 ampères
Groupe B	$50 \times 0{,}35 =$	17,5 ampères
Groupe C	$10 \times 0{,}70 =$	7 ampères
Groupe D	$5 \times 0{,}70 =$	3,5 ampères
Groupe E	$15 \times 0{,}70 =$	10,5 ampères

De même les intensités du courant qui parcourt les diverses portions du conducteur principal sont les suivantes :

$$bc = (C + D + E) = 21 \text{ ampères}$$
$$ab = (bc + B) = 38{,}5 \text{ ampères}$$
$$Oa = (ab + A) = 49{,}7 \text{ ampères}$$

Il en résulte tout d'abord que la dynamo doit fournir un courant de 50 ampères.

2° Diamètres des conducteurs.

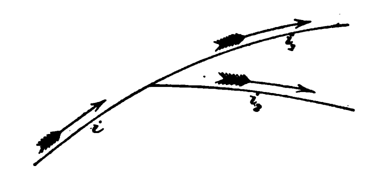


Fig. 34.

Supposons que le conducteur principal *o c* soit en fil de cuivre nu, à l'air libre, et que les autres soient en fils de cuivre placés à l'intérieur des bâtiments et recouverts de guipages isolants. Admettons comme maximum du courant passant par le fil nu 4 ampères par millimètre carré, et pour les autres conducteurs 2 ampères par millimètre carré, les limites indiquées au n° 133 ayant été baissées pour augmenter la sécurité de l'installation. Supposons également que les diamètres des fils employés soient des nombres entiers de millimètres.

Nous allons faire le calcul pour la conduite principale et

les branchements *c* D ; les autres groupes se détermineraient de la même façon.

La section minima des fils, eu égard à leur échauffement, est déterminée par le maximum que nous nous sommes fixé pour la valeur du courant par millimètre carré. On en déduit immédiatement les diamètres minima portés au tableau suivant :

TRONÇONS	INTENSITÉ totale	INTENSITÉ maxima par mm²	SECTION minima	DIAMÈTRE minimum
qD	0,7 ampère	2 ampères	0,35 mm²	1 mm
pq	1,4	2	0,70	1
np	2,1	2	1,05	2
mn	2,8	2	1,40	2
cm	3,5	2	1,75	2
bc	21	4	5,02	3
ab	38,5	4	9,62	4
oa	49,7	4	12,42	4

Il faut voir maintenant si la perte de charge totale dans une ligne formée de conducteurs ayant ces diamètres n'excède pas les 10 volts auxquels nous nous sommes limités.

Pour faciliter ce calcul nous avons construit une table à double entrée qui indique la perte de charge par kilomètre pour un courant de *i* ampères passant dans un fil de cuivre de *d* millimètres de diamètre. Cette table est calculée de la façon suivante :

La résistance de 1 kilomètre de fil de cuivre de *d* millimètres de diamètre est donnée par la formule

$$R = \frac{\alpha l}{s} 10^{-6} \text{ (n}^\text{o}\text{ 30)}$$

Dans laquelle

$l = 100\,000$ centimètres

$s = \frac{\pi d^2}{4 \times 100}$ centimètres carrés

$\alpha = 1,6$ pour du cuivre pur, à la température de 0°

d'où

$$R = \frac{1,6 \times 100\,000 \times 4 \times 100}{\pi d^2 \times 1\,000\,000} = \frac{64}{\pi d^2}$$

Mais le cuivre commercial n'est pas pur ; de plus, la température des fils atteint en moyenne 15° centigrades. Pour tenir compte de ces deux éléments, il faut, dans la pratique, augmenter le coefficient $\alpha = 1,6$ de 12 pour 100 de sa valeur environ.

La perte de charge pour i ampères dans 1 kilomètre de fil sera donc, en moyenne,

$$E = i\ R = \frac{64\ i}{\pi d^2} \times \frac{112}{100}$$

Ce tableau, qui figure à la fin du volume (n° 313), a été calculé pour des intensités de courant de 1 à 10 ampères et des diamètres de fil variant par dixième de millimètre jusqu'à 5 millimètres. Pratiquement, on y trouve tous les diamètres de fils employés dans les petites installations. Les sections des fils de différents diamètres sont indiquées au tableau du n° 312.

La perte de charge due à un courant de 10 ampères étant 10 fois plus élevée que celle qui résulte d'un courant de 1 ampère, le tableau permet encore de calculer la perte de charge relative à un courant supérieur à 10 ampères, au moyen d'une addition de nombres obtenus en multipliant, par des puissances de 10, ceux qui sont relevés directement au tableau n° 313.

Pour les courants intenses, on emploie des câbles au lieu de fils simples. Le tableau du n° 316 indique la contexture et la section des câbles les plus usités dans la pratique, leur résistance kilométrique en ohms à la température ordinaire, et l'intensité maxima du courant qui doit les traverser d'après les indications du n° 133.

La perte de charge pour le tronçon $a\ b$, par exemple,

qui a 200 mètres de longueur (0,200 kilomètre), 4 millimètres de diamètre, et qui est parcouru par un courant de 38,5 ampères (30 + 8 + 0,5), sera, d'après la ligne du tableau n° 313 correspondant à 4 millimètres :

$$0{,}200 \times (42{,}80 + 11{,}41 + 0{,}71) = 0{,}2 \times 54{,}92 = 10{,}98 \text{ volts.}$$

En appliquant le même raisonnement aux autres tronçons, on calcule, comme l'indique le tableau suivant, la perte de charge totale depuis l'origine O jusqu'à la lampe la plus éloignée au point D :

TRONÇONS	DIAMÈTRES en millimètres	LONGUEURS en millimètres	INTENSITÉS du courant en ampères	Perte de charge en volts	
				par kilomètre	totale
	mm.	km.	amp.	volts	volts
Oa	4	0,050	49,7	70,83	3,54
ab	4	0,200	38,5	54,92	10,98
bc	3	0,100	21	53,24	5,32
cm	2	0,010	3,5	19,96	0,20
mn	2	0,010	2,8	15,97	0,16
np	2	0,010	2,1	11,98	0,12
pq	1	0,010	1,4	31,95	0,32
qD	1	0,030	0,7	15,97	0,48
Perte de charge totale depuis d'origine. . . .					21,12

En employant les fils de diamètre minimum, nous arrivons donc à une perte de charge de 21,12 volts, soit 11,12 volts en trop. Il est par suite nécessaire d'augmenter le diamètre des fils. Dans le cas particulier qui nous occupe, il y a intérêt à augmenter celui des fils nus, dont le prix est moins élevé que celui des fils recouverts.

Un calcul analogue pour les autres circuits, jusqu'aux lampes les plus éloignées des tronçons *a* A, *b* B, *c* C, *c* E, fournirait également la perte totale de charge pour ces di-

vers branchements. Supposons que la perte de charge maxima ait lieu pour le circuit que nous avons calculé.

Afin de réduire cette perte de charge, il est nécessaire d'augmenter le diamètre des fils, ou au moins d'une partie d'entre eux. Nous avons vu au n° 132 qu'au-delà de 3 ou 4 millimètres, il était préférable de substituer aux fils simples des petits câbles. En prenant pour les tronçons *O a, a b* et *b c* un câble de 19 torons de 1,3 millimètre (n° 316), et en recommençant un calcul analogue au précédent, on arrive à une perte de charge totale de 10,01 volts, ce qui résout le problème.

Une fois les diamètres déterminés pour la conduite présentant la plus grande perte de charge, il faut reprendre toutes les autres lampes, calculer les pertes de charge qui résultent pour chacune d'elles des diamètres ainsi fixés, voir les divergences qui existent entre elles. Il convient de régulariser le voltage de celles qui s'écartent de plus de 1 volt de la limite donnée de 100 volts, en intercalant dans leur circuit des résistances supplémentaires, comme nous l'avons vu dans l'exemple précédent (n° 137). Nous entrerons d'ailleurs dans le détail des calculs relatifs à des applications pratiques dans la dernière partie de ce volume (n°s 243 et suivants).

139. Circuit bouclé. — Lorsqu'on ne fait pas usage des résistances de réglage dont nous venons de voir l'utilité, il y a presque toujours, quoi qu'on fasse, une différence de voltage entre les lampes branchées sur un même circuit, à moins d'établir un circuit isolé pour chaque lampe, ce qui devient très onéreux et ce qui n'est en général pas pratique pour les lampes à incandescence.

Afin de diminuer cette différence de voltage, on peut avoir recours à ce qu'on appelle le *circuit bouclé*, qui consiste à brancher les lampes sur deux fils disposés de telle

sorte que l'un d'eux alimente toutes les lampes dans un certain ordre, et que l'autre fil les alimente dans l'ordre absolument opposé, comme le montre la figure 35.

On voit dans ces conditions que la longueur du fil composant la dérivation de chaque lampe est la même, quel que soit le foyer considéré, par exemple NL *a b* MS = NL *c d* MS, etc.

Pendant longtemps on a cru, et l'on a dit souvent que la

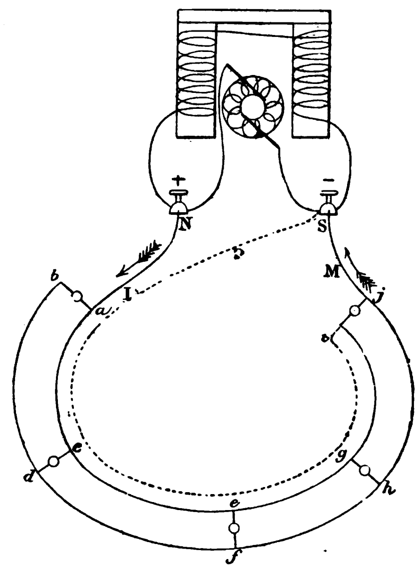


Fig. 35.

Na = ac = ce = eg = gi = 100m. — Sj = jh = hf = fd = db = 100m. — ab = cd = ef = gh = ij = 10m.

longueur de fil étant constante, la perte de charge devait être la même pour toutes les lampes. L'exemple suivant montrera que cette assertion n'est en général nullement fondée.

140. Exemple de distribution par circuit bouclé. — Supposons que nous ayons seulement 5 lampes et que l'intensité du courant qui alimente chacune d'elles soit de 5 ampères. Les courants qui traversent les différentes portions du fil auront les intensités suivantes :

$$ab = cd = ef = gh = ij = 5 \text{ ampères,}$$
$$gi = bd = 5 \text{ ampères,}$$
$$ge = df = 10 \text{ id.}$$
$$ec = fh = 15 \text{ id.}$$
$$ca = hj = 20 \text{ id.}$$
$$Na = Sj = 25 \text{ id.}$$

Supposons que toutes les longueurs des portions de fils, N*a, ac, ce, eg, gi,* S*j, jh, hf, fd, db* soient uniformément de 100 mètres et que les branchements *ab, cd, ef, gh, ij,* aient 10 mètres de longueur. Supposons en outre que la perte de charge la plus considérable admissible depuis la dynamo jusqu'à la dernière lampe soit de 12 volts et que le fil soit recouvert sur toute la longueur.

Déterminons le diamètre des fils d'après le 2me tableau du n° 133 qui fixe le maximum d'intensité que peut atteindre le courant, eu égard à l'élévation de température des conducteurs. Les deux dernières colonnes montrent que l'on peut admettre 3 ampères par millimètre carré. Il en résulte les diamètres suivants pour les différents tronçons.

Tronçons.	Intensités.	Sections.	Diamètres.
ab, cd....... *gi, bd*	5 ampères	$1{,}67^{mm^2}$	$1{,}5^{mm}$
ge, df	10 —	3,34	2,1
ec, fh	15 —	5	2,6
ca, hj	20 —	6,67	3
Na, Sj	25 —	8,34	3,3

Le circuit NL *a c e f h j* MS présente la perte de charge la plus élevée. En la calculant d'après les indications du tableau n° 313, comme nous l'avons fait dans l'exemple du n° 138, on arrive au résultat suivant :

TRONÇONS	LONGUEURS en kilomètres	DIAMÈTRES en millimètres	INTENSITÉS en ampères	pertes de charge en volts	
				par kilomètre	totales
Na+Sj	0,200 k.	3,3mm	25 amp.	52,38 volts	10,48volts
ac+jh	0,200	3	20	50,70	10,14
ce+hf	0,200	2,6	15	50,68	10,13
ef	0,010	1,5	5	50,71	0,51
Perte de charge totale de la dérivation. . . .					31,26

Cette perte de charge ne satisfait pas aux conditions du problème, puisqu'elle dépasse 12 volts. Pour la ramener à ce dernier chiffre, il y a lieu d'augmenter le diamètre des conducteurs. En prenant un diamètre uniforme de 5 millimètres pour les grandes lignes et en conservant celui de 1,5 millimètre pour les petites, on obtient par un calcul analogue les résultats suivants :

TRONÇONS	LONGUEURS en kilomètres	DIAMÈTRES en millimètres	INTENSITÉS en ampères	pertes de charge en volts	
				par kilomètre	totales
Na+Sj	0,200 k.	5 mm	25 amp.	22,87 volts	4,57volts
ac+jh	0,200	5	20	18,30	3,66
ce+hf	0,200	5	15	13,67	2,73
ef	0,010	1,5	5	50,71	0,51
Perte de charge totale de la dérivation. . . .					11,47

Cette perte de charge étant admissible, arrêtons-nous à ces diamètres.

Calculons la perte de charge pour un autre circuit, par exemple NL *a b d f h j* MS, en adoptant les mêmes diamètres de 5 millimètres et de 1,5 millimètre. On obtient le tableau ci-dessous ;

TRONÇONS	LONGUEURS en kilomètres	DIAMÈTRES en millimètres	INTENSITÉS en ampères	pertes de charge en volts	
				par kilomètre	totales
Na+Sj	0,200 k.	5 mm	25 amp.	22,87 volts	4,57 volts
jh	0,100	5	20	18,30	1,83
hf	0,100	5	15	13,67	1,37
fd	0,100	5	10	9,10	0,91
db	0,100	5	5	4,57	0,46
ba	0,010	1,5	5	50,71	0,51
Perte de charge totale de la dérivation. . . .					9,65

La comparaison de ces deux totaux montre qu'il existerait une différence de 1,82 volt entre la différence de potentiel aux bornes des lampes du milieu et des extrémités de la canalisation. Cette différence est trop forte, et il devient utile de recourir aux résistances de réglage, comme dans le cas de conducteurs placés en dérivation simple (n° 137).

Pour les circuits bouclés, ce sont les lampes du milieu qui subissent la plus forte perte de charge dans les cas analogues à celui que nous considérons, c'est-à-dire lorsque les dérivations secondaires ont la même importance. C'est le contraire de ce qui se passe pour les circuits ordinaires, dans lesquels les foyers extrêmes sont ceux qui subissent la plus forte perte de charge.

Dans un seul cas, un circuit bouclé permet d'obtenir une même différence de potentiel aux bornes de toutes les lampes. C'est lorsqu'on peut adopter des diamètres de fils qui conduisent à la même perte de charge par kilomètre dans tous les tronçons de la ligne. La longueur des différents circuits étant constante, on obtient évidemment la même valeur totale pour la perte de charge, quel que soit le circuit considéré.

Dans l'exemple précédent, la longueur totale de chaque

circuit étant de 610 mètres, pour obtenir ce résultat, il faut calculer les diamètres des fils de façon à provoquer une perte de charge uniforme de

$$\frac{12}{0,610} = 19,7 \text{ volts par kilomètre.}$$

Les différents tronçons auraient alors les diamètres suivants, ainsi qu'on peut s'en rendre facilement compte d'après le tableau nº 313.

Tronçons.	Intensités.	Diamètres.
ab, cd...... gi, bd	5 ampères	2,4 millimètres
ge, df	10 —	3,4 —
ec, fh	15 —	4,2 —
ca, hj	20 —	4,8 —
Na, Sj	25	câble de 19 torons de 1,3 millim.

Si rien ne s'oppose à ce que les diamètres des fils soient ainsi déterminés, le circuit en boucle peut être avantageusement employé. Il conduit même alors à une dépense de fil moins considérable que lorsqu'on dispose les fils en dérivation simple. La figure 35 indique en effet en pointillé le tracé qui aurait été adopté par une disposition en dérivation simple. La longueur totale des fils n'est pas changée, mais leur diamètre doit être augmenté. En effet, d'après le tracé pointillé, les circuits particuliers ont des longueurs inégales, et le plus long d'entre eux NL *a i j* PS atteint 1010 mètres. Pour ne pas dépasser une perte de charge totale de 12 volts, il faut que dans chaque tronçon la perte soit inférieure à

$$\frac{12}{1,010} = 11,8 \text{ volts par kilomètre.}$$

Il faudra par suite employer des fils plus gros que dans le cas du circuit bouclé, où la perte peut atteindre 19,7 volts par kilomètre.

Les indications précédentes montrent d'une manière suffisante comment on détermine le diamètre des fils dans

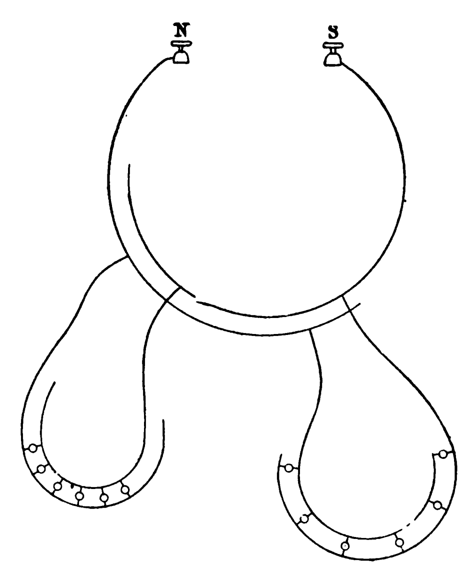


Fig. 36.

le cas des circuits en boucle. Nous en verrons plus loin quelques applications.

141. Autres dispositions de circuits. — Lorsqu'il s'agit d'une installation où il faut envoyer la lumière dans différentes directions, on peut boucler les circuits partiels et les dériver sur deux conducteurs principaux, ceux-ci pouvant eux-mêmes être disposés en boucle, comme l'indique la figure 36.

Dans la plupart des installations, l'emploi général des circuits bouclés n'est pas possible ; nous avons en effet

supposé dans l'exemple précédent que les lampes sont disposées à peu près circulairement autour de la source, de manière que la dernière lampe revienne à une distance de la dynamo égale à la première. Dans la plupart des cas, les tracés sont tout différents : la dynamo est placée à une extrémité de l'usine ou de l'appartement; certaines lampes en sont très rapprochées et d'autres relativement très éloignées. Un circuit en boucle dans ces conditions conduirait à une augmentation notable de longueur du conducteur, comme le montre la figure 37, dans laquelle les traits pleins indiquent le système de dérivation ordinaire et le pointillé se rapporte à une disposition en boucle.

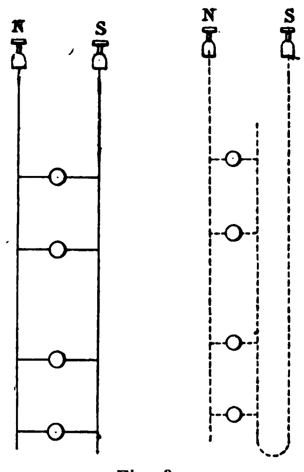


Fig. 37.

Les circuits bouclés ont été autrefois très préconisés par les constructeurs qui pensaient égaliser la force électromotrice aux bornes de toutes les lampes d'une canalisation, par le fait de cette disposition. Nous avons vu qu'en général l'application de ce mode de distribution n'est pas, à elle seule, suffisante pour produire le résultat cherché. Il est d'ailleurs si simple d'égaliser les pertes de charge au moyen des résistances supplémentaires dont nous avons expliqué l'usage, que cette considération présente beaucoup moins d'intérêt.

Il ne faut avoir recours aux circuits bouclés que dans les cas analogues à celui qui est cité plus haut, où leur emploi conduit à une économie dans le poids des conducteurs.

142. Régime variable. — Les calculs que nous avons développés précédemment supposent que le régime de la canalisation est fixe, c'est-à-dire que toutes les lampes sont allumées en même temps et qu'elles débitent chacune le nombre d'ampères qui résulte de la résistance de leurs circuits respectifs, d'après la force électromotrice constante fournie par la dynamo.

En éteignant une des lampes branchées sur les conducteurs, on change immédiatement le régime de toutes les autres. Ainsi, par exemple, dans le problème du n° 138, si l'on éteint la lampe M (fig. 33), l'intensité du courant qui passe dans les conducteurs O *a*, *a b*, *b c*, *c m* est réduite de 0,70 ampère, la perte de charge est par suite diminuée d'une quantité qui peut s'évaluer facilement, et le voltage des lampes est augmenté, si l'on maintient constante la différence de potentiel aux bornes de la dynamo.

Le fait de l'augmentation du potentiel aux bornes des lampes n'aurait pas une grande importance, car on pourrait le diminuer avec le rhéostat de dérivation de la dynamo, si toutes les lampes étaient affectées par une perte de charge identique. Mais il n'en est pas ainsi ; les lampes du groupe A auront leur perte de charge réduite d'une quantité égale à la résistance du circuit O *a* multipliée par l'intensité 0,70 ; celles du groupe B, d'une quantité égale à la précédente, plus la résistance du circuit *a b* également multipliée par l'intensité 0,70, et ainsi de suite.

On voit par là que si le voltage aux bornes des lampes lorsqu'elles sont toutes allumées ensemble est identique, il devient différent lorsqu'on éteint l'une d'entre elles.

L'extinction d'une seule lampe ne produit pas une grande perturbation dans le régime des autres, mais il n'en est plus de même quand on en éteint un grand nombre. Les pertes de charge subies dans les divers circuits diminuent alors d'une façon très sensible, et ces écarts

peuvent produire des variations assez considérables dans la différence de potentiel mesurée aux bornes des lampes. On obtient alors un éclairage irrégulier, qui tend généralement à forcer le régime des lampes allumées (n° 128).

Si l'on doit éclairer des portions bien différentes d'un édifice par des groupes de lampes dont l'allumage est indépendant l'un de l'autre, mais de telle sorte que dans un même groupe toutes les lampes brûlent pendant le même laps de temps, il est facile d'adopter une solution remédiant à l'inconvénient signalé : il suffit de faire, pour chaque groupe de lampes, une canalisation distincte, dont la dérivation part des bornes mêmes de la dynamo, ou plutôt du tableau de distribution placé tout près de la machine.

On intercale dans chaque circuit un rhéostat de manière à régulariser la différence de potentiel aux bornes des lampes dans les différents régimes d'éclairage, et l'on installe le voltmètre de façon à permettre de lire séparément la différence de potentiel aux bornes de chaque circuit.

Si, au contraire, le régime de l'éclairage est tout à fait variable, c'est-à-dire si aucune règle ne préside à l'allumage et à l'extinction des foyers, il est impossible d'assurer une régularité parfaite dans le voltage aux bornes des lampes.

Le cas général est intermédiaire entre les deux précédents. On s'arrange alors de manière à réunir les foyers par groupes, dans chacun desquels on allume et éteint les lampes à peu près au même moment, et l'on établit pour chacun d'eux un circuit distinct partant du tableau de distribution.

Si l'on ne veut pas installer un circuit distinct pour chaque groupe, on peut, comme l'indique la figure 38, faire courir deux gros câbles sur lesquels on branchera en dérivation tous les circuits partiels dérivés. Les deux gros câbles ayant très peu de résistance, la perte de charge qui

en résulte est très faible, et une variation, même assez forte, dans les intensités, aura peu d'importance pour le régime général.

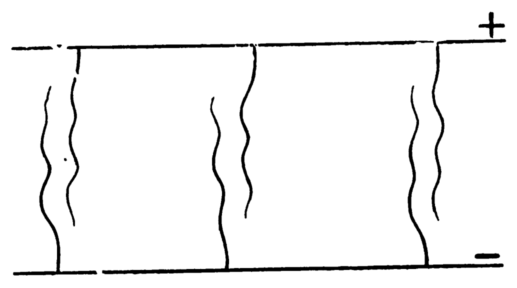


Fig. 38.

Sans entrer pour le moment dans plus de détails, on comprendra qu'il est nécessaire de s'inspirer dans chaque cas particulier des circonstances locales, qui pourront conduire à des conclusions un peu différentes des précédentes, selon les conditions imposées dans chaque exemple spécial.

143. Choix des lampes et de la dynamo. — Quand on établit une installation nouvelle, on est maître de choisir à son gré la force électromotrice de la dynamo et la différence de potentiel des lampes. Les considérations suivantes permettent de guider l'industriel dans cette détermination.

144. Avantages des potentiels élevés. Perte en ligne. On a tout intérêt, au point de vue de l'économie de l'installation, à employer les potentiels élevés. Le maximum du courant qui peut passer dans un fil sans danger d'échauffement dépend uniquement de son intensité, comme nous l'avons vu, et nullement de la force électromotrice de

la dynamo. Pour produire un travail déterminé, plus le potentiel sera élevé, plus l'intensité sera faible, et par suite plus les fils pourront être petits. D'autre part, puisque la perte de charge varie dans un conducteur proportionnellement à l'intensité, il suffira, pour transmettre le même travail avec la même perte de charge, d'avoir des fils d'autant plus fins que l'intensité sera elle-même plus faible, c'est-à-dire que le potentiel sera plus élevé.

Dans les petites installations d'usines ou d'appartements, dans lesquelles les fils sont toujours plus ou moins accessibles, il peut y avoir danger à dépasser 150 ou 200 volts ; les types les plus courants de dynamos sont en général de 210, 110 ou 70 volts, les premières étant préférables aux dernières au point de vue de la perte en ligne.

Dans les grandes stations centrales, les courants atteignent plusieurs milliers de volts ; mais chez les particuliers la différence de potentiel ne dépasse pas 110 volts en général ; des appareils appelés *transformateurs* permettent de substituer à un courant d'un voltage élevé un autre de moindre voltage, en maintenant, bien entendu, le travail, c'est-à-dire le produit E I, constant, déduction faite d'une perte très faible, variable avec le rendement des appareils. Cette disposition permet de faire des économies considérables dans le prix des conducteurs généraux de distribution.

Mais les détails de ces grandes installations sortent de notre cadre ; dans les petites canalisations, on emploie, comme nous venons de le dire, des dynamos de 50 à 200 volts, et l'on calcule les conducteurs de manière à subir, dans la ligne, une perte de charge de 2 à 5 o/o (nº 134).

145. Eclairage par accumulateurs. — Lorsqu'il s'agit d'une installation d'éclairage par accumulateurs, la détermination des conducteurs se fait évidemment de la même

façon que précédemment ; on choisit le voltage des lampes ; on l'augmente de la perte de potentiel due à la ligne, et l'on obtient ainsi la force électromotrice que doivent fournir les accumulateurs.

Le calcul du nombre et du poids des éléments qu'il est nécessaire d'employer a été indiqué aux n°s 96 et suivants. Comme nous l'avons fait remarquer au n° 91, la force électromotrice de chaque élément baisse constamment de 2,20 ou 2,30 volts à 1,90 volt, mais en restant égale à 2,05 volts pendant la plus grande partie de la décharge. Pratiquement, cela ne présente pas en général un grand inconvénient pour l'éclairage par incandescence. On calcule le nombre des accumulateurs, comme nous l'avons vu, en admettant une force électromotrice moyenne de 2,05 volts par élément.

Si l'on tient essentiellement à conserver une lumière constante, on peut employer deux moyens :

1° Charger quelques accumulateurs en plus du nombre qu'il est nécessaire d'utiliser au moment de la décharge moyenne, et les ajouter successivement un par un, quand la lumière baisse, au moyen du réducteur spécial dont nous avons fait mention (n° 102).

2° Intercaler dans le circuit un rhéostat dont on peut faire varier la résistance par la manœuvre d'une manette ou de clefs convenablement disposées. La résistance totale du rhéostat est calculée de manière à provoquer dans la ligne une perte de charge égale à la différence de force électromotrice totale de la batterie d'accumulateurs au commencement et à la fin de la décharge. Ce calcul se fait comme celui qui a été établi au n° 137 pour la détermination d'un fil de ferro-nickel servant également à provoquer une chute de potentiel entre deux points d'un circuit.

Au commencement de la décharge des accumulateurs, on intercale tout le rhéostat, et l'on diminue peu à peu la

résistance pendant l'éclairage, lorsque la force électromotrice des éléments vient à baisser.

146. Détermination de la dynamo. — Le nombre et le poids des accumulateurs étant déterminés, on calcule les constantes de la dynamo comme nous l'avons vu au n° 99.

147. Calcul des conducteurs. — Les fils conducteurs qui transmettent le courant de la dynamo aux accumulateurs doivent être calculés comme nous l'avons indiqué pour les fils destinés à l'éclairage (n° 136). Leur section est déterminée en tenant compte de la longueur du circuit, de l'intensité maxima du courant, et de la perte de charge maxima que l'on peut admettre dans la ligne.

148. Eclairage mixte. — En général, lorsqu'on possède une dynamo et des accumulateurs, on utilise la machine pour l'éclairage direct pendant une fraction de la soirée aussi longue que possible, afin d'éviter la perte d'énergie résultant de l'emploi des accumulateurs comme intermédiaires. On n'a recours à ceux-ci que pendant une partie du temps, par exemple en pleine nuit, après l'arrêt de la machine motrice de l'usine, ou bien pour l'éclairage d'un certain nombre de lampes supplémentaires, la quantité totale des lampes comprises dans l'installation dépassant celle que la dynamo peut alimenter directement.

Deux cas peuvent alors se présenter :

1° La dynamo et les accumulateurs sont destinés à l'éclairage de deux groupes de lampes distincts.

2° La dynamo et les accumulateurs doivent faire le service du même groupe de lampes, à des heures différentes.

D'après ce que nous avons vu (n°s 93 et suivants), il est nécessaire, pour charger des accumulateurs, d'avoir une dynamo dont la force électromotrice est de beaucoup su-

périeure au voltage moyen obtenu pendant la décharge de la batterie. Ainsi, il faut une dynamo de 70 volts pour charger une batterie fournissant à la décharge 55 volts, dans les meilleures conditions d'installation.

Dans le premier cas, c'est-à-dire lorsqu'il existe deux groupes de lampes distincts, il n'y a pas à hésiter, il faut admettre deux voltages différents pour les lampes ; celui du groupe qui doit être alimenté par la dynamo sera en général de 25 à 35 o/o supérieur à celui du groupe branché sur les accumulateurs, suivant les pertes de charge en ligne et les conditions spéciales de l'installation.

Dans le deuxième cas, lorsque la dynamo et les accumulateurs servent à allumer les mêmes lampes, il faut déterminer le voltage de celles-ci pour l'éclairage par accumulateurs ; au moment de l'éclairage direct, il est ensuite nécessaire de réduire la force électromotrice de la dynamo au voltage des lampes, plus la perte en ligne, au moyen du rhéostat intercalé dans la dérivation. Il faut, bien entendu, que ce rhéostat ait assez de résistance pour produire l'abaissement de voltage voulu. Les rhéostats vendus avec les dynamos sont en général trop faibles pour faire tomber la force électromotrice dans de pareilles limites ; il convient d'employer des appareils plus résistants, déterminés par des considérations analogues à celles des nos 52 et 137.

Les indications précédentes permettent de résoudre les problèmes qui se présentent en général pour l'éclairage par incandescence, soit au moyen de dynamos, soit au moyen d'accumulateurs. Nous verrons dans la 7me partie de cet ouvrage qu'il est facile d'en réaliser l'application dans les conditions ordinaires de la pratique.

CHAPITRE III.

ÉCLAIRAGE PAR LAMPES A ARC.

149. Description sommaire. — Les lampes à arc se composent de deux crayons de charbon entre les extrémités desquels jaillit l'arc voltaïque. Pour que l'arc puisse se former, il faut que les deux charbons, d'abord en contact, s'écartent à une petite distance l'un de l'autre ; et, pour que la lumière soit fixe, il faut que cette distance soit aussi constante que possible. Pendant la formation de l'arc, les crayons brûlent, diminuent de longueur, il est nécessaire d'adopter un dispositif particulier pour conserver constante la distance de leurs pointes. Deux systèmes sont employés pour produire ce résultat.

On peut mettre les charbons à côté l'un de l'autre en les séparant par une matière non conductrice qui se volatilise grâce à la température élevée produite par la flamme de l'arc. On obtient ainsi une *bougie ;* mais les bougies exigent l'emploi des courants alternatifs pour que l'usure des charbons soit la même.

Le deuxième système consiste à placer les charbons dans le prolongement l'un de l'autre, et c'est la disposition presque exclusivement employée aujourd'hui ; mais il est alors indispensable de recourir à un mécanisme spécial pour les maintenir à la distance voulue : les appareils construits à cet effet s'appellent des *régulateurs*. Il existe une foule de systèmes de régulateurs pour courants continus et pour courants alternatifs.

Presque tous les régulateurs reposent sur un même principe : une fraction du courant agit sur une bobine d'induction qui attire plus ou moins un barreau de fer doux suivant l'intensité du courant. Le barreau est relié mécaniquement à l'un des charbons et l'entraîne avec lui lorsqu'il s'élève ou s'abaisse. L'arc voltaïque, en jaillissant, oppose au passage du courant une résistance plus ou moins considérable suivant que l'écartement des pointes de charbons est lui-même plus ou moins grand, et cette résistance fait varier l'intensité du courant qui traverse la bobine. Il s'établit ainsi, entre la distance des pointes et l'intensité du courant, un certain équilibre qui assure la régularité de la longueur de l'arc et par suite la constance de l'intensité lumineuse.

L'action du courant sur le barreau de fer doux se règle de trois manières différentes qui conduisent à classer les régulateurs en trois genres distincts. Les figures 39, 40 et 41 indiquent d'une façon schématique la disposition adoptée pour les différents cas, mais dans les appareils pratiques le mécanisme est un peu plus complexe. Le charbon D, au lieu d'être supporté directement par le morceau de fer doux, lui est relié par un enclenchement, pour permettre au crayon de se déplacer au fur et à mesure de son usure, tout en étant relié au barreau au moment même où l'action de la bobine doit se produire.

150. Régulateurs en série. — La bobine B est intercalée dans le circuit N C A D B S. Lorsque les charbons s'usent, l'arc s'allonge, la résistance du circuit augmente, l'intensité du courant diminue et l'attraction de la bobine varie dans le même sens. Le morceau de fer doux remonte par suite sous l'action du ressort antagoniste L, et ramène ainsi l'arc à sa valeur normale (fig. 39).

Ces appareils, appelés *régulateurs en série*, ont un in-

convénient : pour qu'ils fonctionnent convenablement, chaque circuit ne doit comporter qu'un seul appareil. Si, en effet, on en place deux ou plusieurs en série dans un

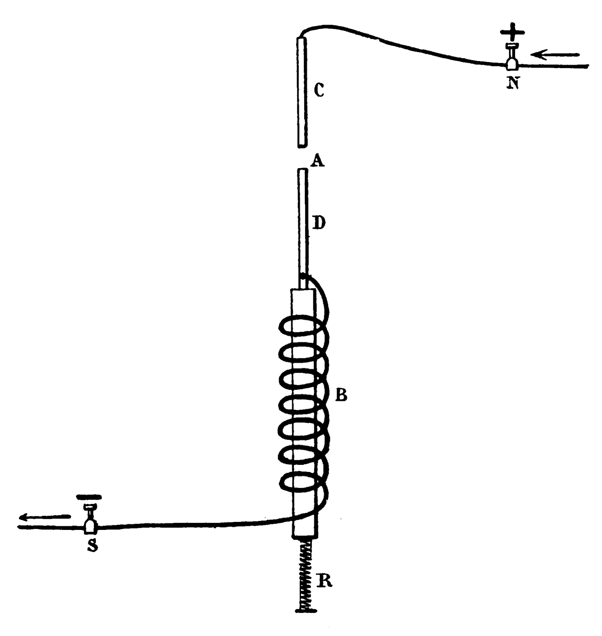


Fig. 39.

même circuit, il peut arriver, au moment où l'un des arcs s'allonge, que l'augmentation de résistance qui en résulte soit compensée par une diminution inverse produite par un autre régulateur. Le régime de la canalisation n'étant pas modifié, l'intensité du courant reste constante et le mécanisme de réglage n'agit pas.

Lorsqu'on veut disposer plusieurs régulateurs dans un circuit, il faut employer le procédé suivant,

151. Régulateurs en dérivation. — La bobine B, au lieu d'être parcourue par le courant total, est traversée par une dérivation N B P S prise aux bornes de la lampe. Le

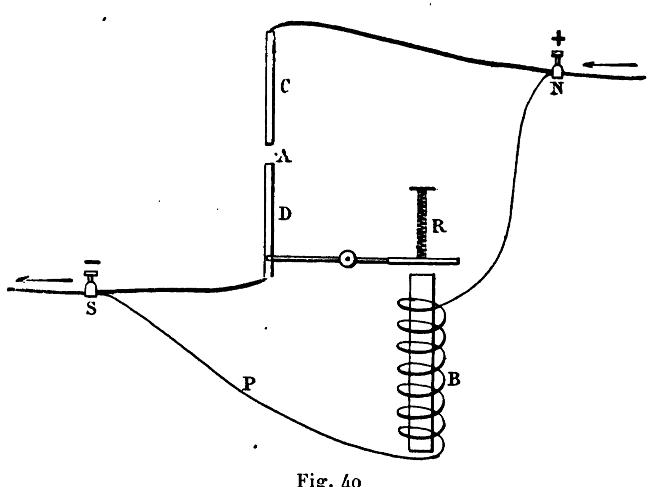


Fig. 40

courant qui arrive au point N se partage entre les deux conducteurs N B P S et N C A D S, et l'intensité relative de chacune des deux fractions est inversement proportionnelle aux résistances des deux branchements, comme on pourrait s'en assurer par un calcul analogue à celui du n° 29.

Si l'arc s'allonge, la résistance du branchement N C A D S s'accroît, et il en résulte une augmentation dans l'intensité du courant de l'autre fil, où se trouve intercalée la bobine. Celle-ci attire le barreau de fer ; le crayon inférieur se relève, l'arc diminue et le régime reprend son état normal.

Ces régulateurs sont dit *excités en dérivation*. Au moment où l'arc s'allonge, la résistance totale des deux bran-

chements augmente, et par suite l'intensité du courant général diminue légèrement. A cet instant, et jusqu'à ce que

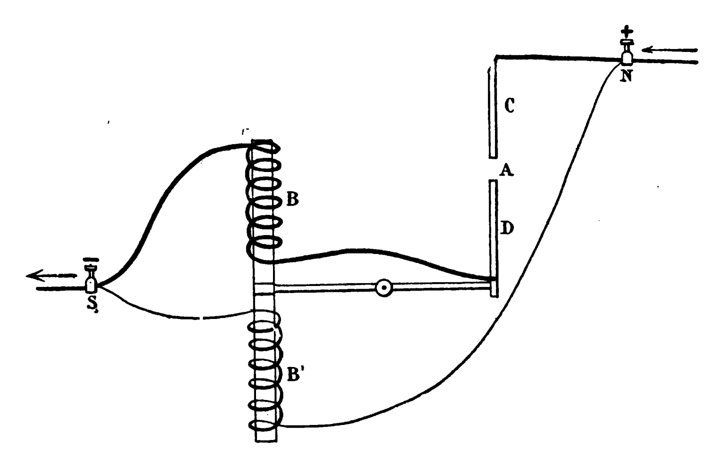


Fig. 41.

le régime normal soit de nouveau établi, il en résulte un faible abaissement dans l'éclat des foyers. On peut éviter cet inconvénient au moyen du dispositif indiqué ci-dessous.

152. Régulateurs différentiels. — Le courant se divise en deux parties suivant deux branchements, N C A D B S qui contient une première bobine B excitée en série et N B' S qui comprend une deuxième bobine B' excitée en dérivation.

Quand l'arc s'allonge, le courant s'affaiblit dans le premier circuit et augmente dans le second, de telle sorte que le noyeau de fer doux est sollicité à la fois et dans le même sens par les deux bobines. Il entraîne avec lui le charbon D de façon à restituer à l'arc sa longueur normale. Cette action étant très rapide, l'appareil est plus sensible que le précédent, et la fixité de l'arc est mieux assurée.

Ces appareils sont appelés régulateurs *différentiels* ou à *double enroulement*. Ils conviennent spécialement pour les installations comprenant, dans un même circuit, plusieurs lampes disposées en série.

Dans les différents systèmes de régulateurs, les bobines dans les spires desquelles circule le courant principal sont formées par un gros fil ; celles qui sont comprises dans les dérivations sont constituées par un fil long et fin, de manière à présenter une grande résistance et à ne laisser passer dans la dérivation qu'une très faible partie du courant total, quelques dixièmes d'ampère tout au plus. Cette fraction du courant est en effet absorbée en pure perte ; elle assure la fixité de l'arc, mais aux dépens du rendement des appareils.

153. Usure des charbons. — Dans le cas des courants alternatifs, l'usure des charbons positif et négatif est égale lorsqu'ils sont horizontaux ; quand ils sont verticaux, le charbon supérieur s'use un peu plus vite que le charbon inférieur.

Lorsqu'on emploie les courants continus, le charbon positif s'use à peu près deux fois aussi vite que le négatif lorsque les crayons sont de même diamètre et de même composition. Pour que l'usure des charbons soit moins différente, on se sert en général de crayons plus gros pour le positif que pour le négatif. De plus, au pôle positif, on emploie des crayons dits à *mèche* ou à *âme*, c'est-à-dire formés d'une partie centrale tendre plus conductrice, autour de laquelle est agglomérée une pâte de la même dureté que celle des charbons négatifs. Cette disposition particulière du charbon positif régularise l'usure, et a surtout pour but d'augmer la fixité du point lumineux, l'arc s'établissant de préférence au point le plus conducteur, c'est-à-dire à l'extrémité de l'âme centrale.

Le charbon positif se place en général à la partie supérieure, et le négatif au-dessous.

L'usure des charbons représente une dépense appréciable dans l'entretien des lampes à arcs. On peut l'évaluer en moyenne, pour les deux charbons réunis, à 8 centimètres par heure, y compris les déchets. (M. Fontaine.)

154. Diamètre des charbons. — Les diamètres fixés pour les charbons varient selon les constructeurs. En moyenne, les diamètres adoptés sont les suivants :

Intensité du courant.	Charbon positif à mèche.	Charbon négatif homogène.
—	—	—
3 ampères	9 millimètres	6 millimètres
4 —	10 —	6,5 —
5 —	10,5 —	7 —
6 —	11 —	7,5 —
7 —	12 —	8 —
8 —	13 —	9 —
9 —	14 —	9,5 —
10 —	16 —	10 —
12 —	18 —	12 —
14 —	20 —	13 —
16 —	21 —	14 —
18 —	22 —	15 —
20 —	24 —	16 —

155. Puissance lumineuse. — La puissance lumineuse d'une lampe à arc varie beaucoup suivant l'incidence sous laquelle on la regarde. Le point le plus brillant du foyer se trouve, non pas au centre de l'arc proprement dit, mais à l'extrémité du charbon positif. C'est pour cela qu'on place en général ce dernier à la partie supérieure du régulateur, de façon à projeter sur le sol le plus de lumière possible. La direction dans laquelle l'intensité des rayons lumineux est la plus forte fait un angle de 40 à 45° avec l'horizontale (fig. 42).

156. Intensité moyenne sphérique.— Supposons qu'on divise la surface d'un plan vertical, passant par les crayons, en un grand nombre de petits angles ayant leur sommet au centre de l'arc électrique (fig. 42) et découpant des zones égales sur la surface d'une sphère, lorsqu'on fait exécuter à ce plan méridien une révolution complète autour des charbons ; si l'on relève l'intensité lumineuse du rayon envoyé par le foyer au milieu de chacun de ces angles, la moyenne de toutes les intensités lumineuses ainsi constatées s'appelle l'*intensité moyenne sphérique*. Le nombre obtenu représente bien en effet l'intensité moyenne de l'éclairement d'une sphère ayant son centre au milieu de l'arc.

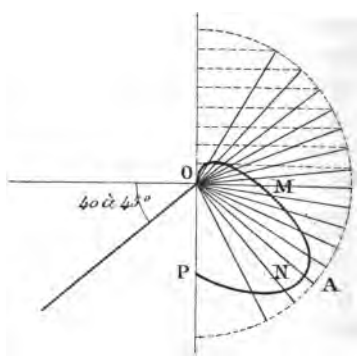


Fig. 42.

Un foyer dit de 50 carcels est celui dont l'intensité moyenne sphérique a cette valeur de 50 carcels.

En portant à partir du centre de la sphère sur un rayon OA, l'intensité lumineuse ON correspondant à sa direction, en répétant la même opération pour tous les rayons, et en réunissant par un trait continu les points MNP, etc. ainsi déterminés, on obtient la *courbe photométrique* du foyer lumineux. La courbe OMNP de la figure 42 représente la courbe photométrique d'une lampe à arc à courant continu et à charbons verticaux, le charbon positif étant placé au-dessus du négatif.

157. Puissance absorbée par les régulateurs. — On ne peut pas indiquer d'une manière absolue la relation qui

existe entre l'intensité lumineuse d'un arc et la puissance qu'il absorbe, ce rapport variant avec la perfection des régulateurs employés. Il faut compter, en général, sur une dépense de 4 à 6 watts par carcel, la dépense par carcel étant d'autant moins élevée que les lampes sont plus fortes.

Pour un projet d'éclairage, on peut admettre l'échelle de proportion ci-dessous, qui représente à peu près la moyenne des résultats constatés par de nombreuses expériences :

Intensité du courant en carcels	30	50	70	100	150	200	500	carcels.
Energie absorbée en watts par carcel	6	5,75	5,50	5,25	5	4,5	4	watts.

On voit par ces indications que la lumière des lampes à arc est beaucoup plus économique que celles des lampes à incandescence. Cette économie est réelle, bien qu'elle soit diminuée par la nécessité de diffuser dans l'espace, pour produire le même éclairement local, une plus grande quantité de lumière lorsqu'on emploie l'arc que l'incandescence, ainsi que nous le verrons au n° 162. Aussi est-il avantageux de se servir de lampes à arc lorsqu'il s'agit d'éclairage industriel. L'éclairage par incandescence est un éclairage de luxe que l'on réserve aux usages domestiques, à moins que l'importance des espaces à éclairer ne soit trop faible pour motiver des foyers aussi puissants que les lampes à arc.

158. Voltage. — Les lampes à arc sont en général réglées pour fonctionner avec une différence de potentiel, aux bornes, de 35 à 55 volts, les plus faibles voltages correspondant aux régulateurs ayant le plus petit pouvoir éclairant. Il est impossible d'indiquer une corrélation absolue entre l'intensité lumineuse et la différence de potentiel aux bornes des lampes, le rapport existant entre ces deux éléments variant avec les dispositifs des appareils. Dans une estimation approximative, on peut admettre l'échelle de proportion suivante :

Intensité lumineuse en carcels	30	50	70	100	150	200	500	carcels.
Différence de potentiel aux bornes en volts.	40	42	45	47	50	52	55	volts.

Chaque constructeur indique d'ailleurs soigneusement la différence de potentiel pour laquelle ses régulateurs sont établis.

Par suite d'une bizarrerie, qui n'est pas bien expliquée, mais devant laquelle on est forcé de s'incliner dans la pratique, on a remarqué qu'il est indispensable d'intercaler entre la source d'électricité et les régulateurs une résistance produisant une chute de potentiel très notable.

Ainsi, par exemple, un régulateur de 50 volts ne fonctionne pas bien lorsqu'il est directement alimenté par une dynamo du même voltage, sans perte de charge. On est obligé, pour assurer la régularité de sa marche, d'avoir recours à une dynamo de 70 volts, et d'intercaler entre la dynamo et le régulateur une résistance suffisante pour amener une perte de 20 volts. On pense que cette résistance sert de volant pour compenser les petites irrégularités du mécanisme de rapprochement des charbons. Mais cette explication est incomplète ; lorsqu'une lampe à arc est alimentée par des accumulateurs, ceux-ci devraient en effet constituer un volant largement suffisant, et, malgré cela, l'utilité de la résistance intercalaire se fait encore sentir, bien qu'à un moindre degré.

De plus, on peut faire fonctionner convenablement deux lampes de 50 volts, en les mettant en série sur une dynamo de 110 volts, bien que la chute de potentiel ne soit dans ce cas que de 10 pour 100 au lieu d'atteindre 20 pour 50 ; il est probable que les irrégularités des deux lampes se contrebalancent dans une certaine mesure, en laissant de la sorte un peu plus de latitude ; mais cette explication est tout au moins problématique.

159. Intensité. — L'intensité du courant absorbé par un régulateur augmente avec sa puissance lumineuse, sans toutefois lui être proportionnelle. Elle est égale au quotient

du nombre de watts que l'arc absorbe (n° 157) par la différence de potentiel aux bornes de la lampe (n° 158), d'après la formule bien souvent employée déjà W = EI (n° 32). En comparant les chiffres indiqués aux n^{os} précédents (157 et 158), on en déduit les rapports suivants entre la puissance lumineuse d'un arc et l'intensité du courant qui l'alimente.

Intensité lumineuse en carcels	30	50	70	100	150	200	500	carcels.
Intensité du courant en ampères	4,5	7	8,5	11	15	17	36,5	ampères.

Nous insistons de nouveau sur ce que ces chiffres n'ont rien d'absolu : ils varient un peu avec les constructeurs, mais ils peuvent servir de base à une évaluation première dans un projet d'éclairage.

160. Diffusion de la lumière. — A l'origine, les lampes à arc éclairaient assez mal les locaux où la lumière a besoin d'être bien diffusée partout, comme les ateliers d'ajustage, les filatures, etc. Le point lumineux n'était pas bien fixe et produisait de fortes ombres portées ; de plus, son éclat était insupportable et faisait mal aux yeux. On remédie actuellement à ces inconvénients en construisant des régulateurs plus parfaits et en entourant l'arc voltaïque d'un globe dépoli, de manière à remplacer le point lumineux par une sphère dont l'effet est plus ou moins comparable à celui de la lumière émise par le soleil.

Aujourd'hui, de nombreux régulateurs construits de cette façon donnent de bons résultats, fournissent une lumière bien égale, se diffusant parfaitement et permettant de travailler sans fatigue dans les ateliers les plus minutieux.

On emploie beaucoup dans les filatures, les tissages, et en général dans les établissements où il est utile d'éclairer les locaux avec une lumière douce, homogène, qui ne fatigue pas la vue, le dispositif connu sous le nom d'*arc renversé*.

Il consiste à supprimer tous les rayons émis directement par l'arc vers le sol, en adaptant à la base du régulateur

un réflecteur de grand diamètre qui le cache complètement aux yeux et qui renvoie tous les rayons lumineux vers le plafond de la salle. Le plafond est peint en blanc, afin d'absorber le minimum de lumière, et de réfléchir dans le local à éclairer, en les diffusant convenablement, les rayons émis par la source. Dans ce cas, le charbon positif est situé au-dessous du négatif, au lieu d'être placé, comme nous l'avons indiqué au nº 153, à la partie supérieure du régulateur.

La réflexion sur une surface comporte toujours une certaine perte, et réduit quelque peu le pouvoir éclairant des lampes, mais cette diminution est largement compensée par l'uniformité de la répartition dans l'espace de la lumière émise par les foyers.

Dans le même but, on se sert également de globes *diffuseurs*. Ce sont des solides de révolution, en cristal moulé, dont la forme générale représente la superposition d'une série d'anneaux lenticulaires. Ces diffuseurs remplacent les globes dépolis ordinaires des régulateurs. Les rayons émis par l'arc sont réfractés à travers certaines facettes des lentilles, réfléchis par d'autres; les courbures sont calculées de façon à supprimer pour l'œil le point brillant de l'arc et à le remplacer par un faisceau de rayons émis dans toutes les directions, assurant une répartition aussi parfaite que possible de la lumière dans l'espace.

161. Disposition des lampes. — La surface bien éclairée par une lampe à arc est d'autant plus étendue que la lampe est plus intense.

A l'air libre, pour éclairer un hall, une cour, etc., il faut placer les lampes sur des supports, et ces supports doivent être d'autant plus élevés que les lampes sont plus fortes.

Un régulateur de 200 carcels, par exemple, doit être placé à 12 mètres de hauteur environ et éclairera convena-

blement une surface de 500 mètres carrés. Un régulateur de 100 carcels, placé sur une colonne de 10 mètres, éclairera une aire de 250 mètres carrés.

Dans un atelier, les régulateurs sont suspendus au plafond, au milieu de l'espace à éclairer. Le nombre et la puissance des régulateurs varient avec l'intensité de la lumière qu'il est nécessaire d'obtenir. Pour assurer un éclairage convenable, dans un atelier d'ajustage, par exemple, il convient d'installer un régulateur de 150 carcels pour une surface de 200 mètres carrés, ou de 70 carcels pour une surface de 100 mètres carrés, ou de 30 carcels pour une surface de 50 mètres carrés.

Lorsqu'on a besoin d'un éclairage très intense, comme dans un tissage, il devient nécessaire, dans certains cas, d'employer une lampe de 100 carcels par chaque 50 mètres carrés.

La puissance des lampes varie avec la hauteur d'étages. Ainsi des ateliers très élevés peuvent être sans inconvénient éclairés par des régulateurs de 150 carcels, tandis que des ateliers ordinaires doivent être éclairés par des lampes de 100 carcels au plus. Pour des ateliers vastes et très bas, de 3 mètres de hauteur par exemple, il faudra employer des régulateurs de 30 ou 40 carcels, espacés comme nous venons de l'indiquer.

Dans tous les cas, les murs et les plafonds des salles devront être soigneusement entretenus et revêtus de couleur blanche et mate.

Il peut être intéressant de déterminer exactement l'éclairement des différentes parties d'une salle contenant un certain nombre de foyers lumineux.

M. Maréchal a indiqué une construction très simple qui permet de s'en rendre compte très facilement, lorsqu'on connaît la courbe photométrique des foyers employés (n° 156).

Soit (fig. 43), I l'intensité lumineuse du rayon dans une direction donnée, exprimée en bougies.

θ l'angle de ce rayon avec la verticale.

h la hauteur en mètres du foyer au-dessus du point M dont on veut déterminer l'éclairement.

e l'éclairement en bougies-mètre (nº 123) d'une surface plane horizontale qui passe par le point M.

D'après les lois de l'optique, on démontre facilement la formule

$$e = \frac{I \cos^3 \theta}{h^2}$$

Si *ab* est la courbe photométrique du foyer F, F B = I. Élevons par le point B la perpendiculaire B H à F B, et menons la droite BC parallèle à FA, puis successivement les lignes CD parallèle à FB, et DE parallèle à FA. Si, d'a-

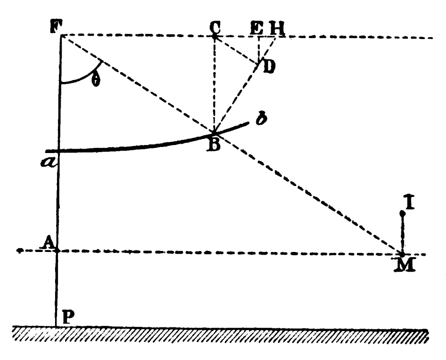


Fig. 43.

près l'échelle adoptée pour le tracé de la figure, les intensités lumineuses sont exprimées en bougies et les longueurs en mètres, ED représente l'éclairement, en bougies-mètre, d'une surface horizontale qui passe par le point M.

Si le local est éclairé par plusieurs foyers, en recommen-

çant la construction pour les différentes lampes, et en ajoutant toutes les longueurs obtenues, on obtient l'éclairement total du point M. En pratique, il suffit de faire intervenir, dans chaque direction autour du point dont on veut connaître l'éclairement, les deux ou trois lampes les plus proches, car l'éclairement dû à un foyer étant inversement proportionnel au carré de sa distance, l'influence des foyers éloignés devient négligeable vis-à-vis de celle des lampes voisines du point considéré.

En réunissant ensuite par des courbes continues les points de la surface pour lesquels l'éclairement est de 10 bougies-mètre, puis ceux pour lesquels l'éclairement est de 20 bougies-mètre, etc., on obtient un plan figuratif qui fournit tous les renseignements voulus sur l'éclairement de la surface du local. Si dans un atelier, par exemple, on impose un éclairement minimum de 30 bougies-mètre au droit des tables de machines (n° 123), on obtiendra le résultat cherché en disposant les foyers de telle sorte que tous les appareils soient enveloppés par la courbe figurative de l'éclairement égal à 30 bougies-mètre.

162. Comparaison entre les lampes à arc et à incandescence. — Lorsqu'on éclaire une grande salle au moyen de lampes à incandescence, la facilité d'installation de ces petites ampoules de verre permet, soit de les disposer presque uniformément dans toute la surface de la pièce, soit de les placer aux points mêmes où il est nécessaire de concentrer la lumière, si certaines parties de la salle ont besoin d'être éclairées d'une façon plus intense que d'autres.

Quand on se sert de régulateurs, au contraire, le nombre des appareils employés étant beaucoup plus restreint, il est presque impossible de diriger une lumière plus intense vers des points spéciaux d'une pièce, en laissant les autres dans une obscurité relative. Il est nécessaire de

diffuser partout dans l'espace une lumière égale au minimum de celle que l'on veut obtenir dans les différentes directions. De plus, l'éclairement produit sur une surface est, comme nous l'avons vu, inversement proportionnel au carré de la distance de cette surface au foyer lumineux (n° 122). Les lampes à incandescence disséminées dans une salle sont beaucoup plus rapprochées des points à éclairer qu'un régulateur placé au milieu de la même pièce. Le régulateur, à puissance lumineuse égale, produira donc un éclairement local plus considérable aux points de l'espace qui l'environnent, mais beaucoup moins intense aux endroits où la lumière est utilisable, sur les tables de travail placées près des murs de la salle, par exemple.

Ces différentes considérations obligent à répandre dans l'espace une quantité absolue de lumière beaucoup plus considérable quand on emploie les régulateurs que lorsqu'on utilise les lampes à incandescence.

Les chiffres que nous avons donnés au n° 130, comparés à ceux du numéro précédent, font nettement ressortir cette différence. Nous avons vu en effet que pour obtenir un éclairage moyen dans une haute salle, à l'aide de lampes à incandescence, il fallait employer deux bougies par mètre carré, soit 200 bougies ou 20 carcels (n° 119) par 100 mètres carrés. Dans le cas de foyers à arc, au contraire, pour obtenir le même éclairement, il est nécesaire de se servir d'un régulateur de 70 carcels.

Malgré cette différence, l'éclairage à arc est plus économique que l'éclairage par incandescence, puisque le premier ne demande que 4 à 6 watts par carcel (n° 157), tandis que le second exige 3,5 watts par bougie (n° 126), soit 35 watts par carcel.

163. Calcul d'une canalisation — Le calcul d'une canalisation pour lampe à arc est le même que lorsqu'il s'agit de lampes à incandescence.

On emploie en général, dans le cas qui nous occupe, celui des petites installations, des dynamos de 70, 110 ou 210 volts, suivant que l'on veut allumer et éteindre les lampes séparément, par groupes de deux ou par groupe de quatre. Dans ces deux derniers cas, on monte en dérivation sur les conducteurs principaux les groupes de lampes disposées par séries de 2 ou de 4 dans chaque dérivation.

On calcule le diamètre des conducteurs de manière à obtenir aux bornes des lampes une différence de potentiel égale à celle qui leur est nécessaire. En se reportant à ce que nous avons indiqué aux n°s 135 et suivants pour le calcul des fils, on verra que l'intensité des courants des lampes à arc étant en général assez élevée, on est obligé d'avoir des fils conducteurs assez gros, qui occasionnent de faibles pertes de charges, sauf au cas où la canalisation est très longue. Comme il faut obtenir une chute de potentiel de 20 à 25 volts, il est pratiquement toujours nécessaire d'intercaler dans les dérivations une résistance notable, qui s'ajoute à celle des conducteurs. On emploie à cet effet des *rhéostats de réglage*, établis de manière à laisser passer dans chaque lampe l'intensité qui lui est nécessaire.

164. Rhéostats de réglage. — Lorsqu'on calcule les rhéostats de réglage, on peut être amené à un diamètre tel que le courant y produise un échauffement dangereux. En général on construit les rhéostats de telle sorte que le fil, lors du passage du courant d'intensité maxima, ne dépasse pas la température ambiante de la salle de plus de 50 degrés. Lorsqu'on établit les rhéostats en ferro-nickel, on peut satisfaire à cette condition de température en prenant les diamètres minima indiqués au tableau n° 315 placé à la fin du volume. Il faut éviter pour les spires des rhéostats, le contact du bois, et les monter sur marbre, porcelaine, ardoise, etc.

165. Exemple. — Il s'agit d'alimenter une lampe à arc de 50 carcels au moyen d'une dynamo de 70 volts, située à 150 mètres du régulateur. Quel diamètre de fil devra-t-on employer pour les conducteurs, et comment le rhéostat devra-t-il être construit?

D'après le n° 158, le régulateur fonctionne convenablement avec une différence de potentiel de 42 volts aux bornes de l'appareil. Pour produire une intensité lumineuse de 50 carcels, il exige 5,75 watts par carcel (n° 157), soit 287,5 watts. L'intensité du courant qui l'alimente est égale à

$$\frac{287,5}{42} = 6,84 \text{ ampères.}$$

Pour conduire un courant de 6,84 ampères, si le fil est isolé, sa section devra avoir 2,28 millimètres carrés, à raison de 3 ampères par millimètre carré (n° 133). Il sera par suite nécessaire d'employer un fil de 1,8 millimètre de diamètre. Ce fil traversé par un courant de 6,84 ampères, occasionne une perte de charge de 47,94 volts par kilomètre (n° 313), soit

$$47,94 \times 0,300 = 14,28 \text{ volts}$$

pour une longueur de 300 mètres (aller et retour).

La force électromotrice de la dynamo est de 70 volts; la différence de potentiel aux bornes des lampes est de 42 volts; la ligne et le rhéostat de réglage doivent donc produire une perte de charge totale de 28 volts; la ligne absorbant 14,28 volts, le rhéostat doit provoquer une perte de 13,72 volts.

D'après le n° 315, le ferro-nickel à employer pour un courant de 6,84 ampères doit avoir un diamètre de 2 millimètres, et sa résistance à chaud est de 265 ohms par kilomètre. Le fil du rhéostat devra par suite avoir une longueur de

$$\frac{13,72}{0,265} = 52,15 \text{ mètres.}$$

Il est commode, pour les régulateurs à arc, de se servir de rhéostats de réglage à résistance variable. On fait construire les rhéostats pour la plus grande longueur de fil qu'il est nécessaire d'intercaler dans le circuit où il faut provoquer la plus forte perte de charge. On règle ensuite chacun d'eux pour l'intensité du courant qu'il doit laisser passer.

166. Lampes montées en série. — Ce que nous venons de dire s'applique surtout aux foyers montés en dérivation. Lorsqu'on emploie dans une installation le montage en série, on installe une dynamo ayant pour force électromotrice la somme des voltages des lampes du circuit, plus la perte de charge en ligne, et susceptible de fournir un courant ayant une intensité égale à celle qui est nécessaire à l'alimentation des lampes. Un rhéostat de réglage général permet de maintenir cette intensité constante.

Lorsqu'on éteint une lampe pour la réparer ou pour un autre motif, il faut la mettre hors circuit, et faire une jonction entre les deux fils qui aboutissent à ses bornes, afin de fermer le circuit et d'éviter l'extinction des autres lampes de la série ; cette communication doit s'établir d'elle-même par le jeu d'un commutateur spécial. Pour que l'enlèvement de cette lampe ne trouble pas le régime général de la canalisation, le commutateur qui ferme le circuit peut introduire automatiquement une résistance égale à celle de la lampe ; sans cela il est nécessaire de régler à chaque instant l'intensité du courant au poste des dynamos par la manœuvre de la manivelle du rhéostat.

Il résulte de l'introduction de ces résistances une perte d'énergie absorbée sans aucun profit. Pour l'éviter, on a construit des dynamos à intensité constante et à force électromotrice variable, à réglage automatique, obtenue en changeant le calage des balais. Ces machines sont aujour-

d'hui très employées dans les grandes installations de foyers disposés en série.

Dans ces canalisations en série, l'intensité du courant est constante sur toute la ligne (nº 7) et par suite on ne peut employer que des foyers d'un seul type ; aussi, dans les petites installations, pour se débarrasser de cette obligation et pour éviter la sujétion de la dépendance des foyers, on s'arrête souvent à la solution la plus simple, qui consiste à monter toutes les lampes en dérivation aux bornes de la dynamo. On emploie alors une dynamo de 70 volts pour des régulateurs de 40 à 50 volts, malgré l'économie d'énergie et de fils qui résulte de l'utilisation des tensions plus élevées.

167. Éclairage mixte. — On peut, sur une même canalisation, monter, sans aucun inconvénient, des lampes à arc et des lampes à incandescence. Ainsi, par exemple, avec une dynamo de 70 volts, il est possible d'alimenter des lampes à incandescence de 68 volts, en admettant 2 volts pour la perte en ligne, et des foyers à arc de 50 volts, dans le circuit desquels on intercale leurs rhéostats de réglage.

Les conducteurs se calculent toujours de la même façon que s'il s'agissait d'incandescence seule.

168. Éclairage par accumulateurs. — Quand on alimente des lampes à arc par des accumulateurs, il n'est pas nécessaire de subir une perte en ligne aussi forte que lorsqu'on emploie les dynamos ; en général, 5 ou 6 volts de perte suffisent à la fin de la décharge de la batterie.

169. Exemple. — D'après ce qui précède, pour alimenter des régulateurs de 45 volts, il est nécessaire d'avoir aux bornes de la batterie d'accumulateurs une force élec-

tromotrice de 50 volts environ à la fin de la décharge. Comme chaque élément possède à ce moment une force électromotrice de 1,9 volt (nº 61), il faut

$$\frac{50}{1,9} = 27 \text{ éléments.}$$

Mais ces 27 éléments développent au commencement de la décharge une force électromotrice de

$$27 \times 2,4 = 64,8 \text{ volts.}$$

Comme l'intensité qui doit passer dans les régulateurs a besoin d'être sensiblement constante, il convient de placer un rhéostat de réglage dans la conduite générale d'où partent toutes les dérivations des lampes à arc, afin d'y ramener constamment l'intensité à sa valeur normale. Un ampèremètre donnera les indications nécessaires à cet effet, et permettra d'obtenir la fixité de la lumière, si l'on a soin de maintenir constante l'intensité du courant.

Lorsqu'on veut se débarrasser de la sujétion de la manœuvre de ce rhéostat, il faut ne se servir des accumulateurs que pendant la deuxième période de leur décharge, où la force électromotrice de chaque élément est à peu près constante et égale à 2,05 volts environ. On obtient de cette manière une lumière constante, mais on n'utilise qu'incomplètement les accumulateurs au point de vue de leur capacité.

CINQUIÈME PARTIE.

Dispositions générales des canalisations.

---

170. Précautions générales. — Conducteurs. — Dans toute canalisation, il faut pouvoir à un moment déterminé distinguer les fils positifs et négatifs l'un de l'autre, ainsi que les fils des différentes dérivations, pour le cas où l'on aurait à faire une modification ou une addition aux conduites existantes.

Pour distinguer les fils positifs et négatifs, il est bon de suivre une règle pour la pose des conducteurs, par exemple de mettre dans toute l'installation le positif à gauche et au-dessus du négatif. Il faut en outre graver les signes + ou — sur toutes les bornes auxquelles aboutissent les fils.

Lorsqu'il peut se produire une confusion, comme pour les connexions des accumulateurs, il est utile de peindre d'une couleur voyante, en rouge vif, par exemple, toutes les connexions positives, en laissant leur couleur grise aux connexions négatives.

Il est également bon de laisser l'un des deux fils, le négatif par exemple, ininterrompu dans toute la canalisation, et de mettre tous les coupe-circuit, commutateurs, interrupteurs, ampèremètres, etc., sur le fil positif, sauf au cas signalé plus loin (n° 176) où il est utile d'employer des commutateurs bipolaires,

171. Soudures et branchements. — Les jonctions des fils aux branchements doivent être faites avec le plus grand soin. Lorsqu'on veut réunir deux fils fins, on dégarnit les guipages isolants des extrémités à relier, on décape soigneusement le métal avec du papier d'émeri, on tord ensemble les deux bouts sur une longueur de 4 ou 5 centimètres, on les serre bien avec une pince, et l'on recouvre le tout de gutta-percha ou de ruban *chattertonné*, c'est-à-dire enduit d'une composition particulière bien isolante et facile à appliquer. Mais lorsqu'on doit relier deux fils un peu gros, ayant un diamètre supérieur à 2 millimètres par exemple, il devient nécessaire, après avoir tordu les deux bouts ensemble, de les souder à l'étain, sans quoi les contacts pourraient être insuffisants. Bien entendu, il faut toujours recouvrir la soudure de gutta-percha.

Lorsqu'on relie deux extrémités de fil ou de câble sous plomb, il faut faire en sorte que les bouts des fils repliés ne touchent pas la gaîne de plomb, sans quoi on établirait une dérivation à la terre par où s'écoulerait, en pure perte, une grande partie du courant.

172. Isolement. — Il est indispensable de veiller à ce que toutes les parties de la canalisation soient parfaitement isolées, surtout dans les bâtiments construits avec charpente métallique. Un défaut d'isolation, mettant la ligne en communication avec la terre, constitue une dérivation d'autant moins résistante que l'isolement est moins parfait. Il peut s'écouler dans cette dérivation une quantité d'électricité notable, en pure perte, et d'après la loi d'Ohm cette quantité est d'autant plus importante que le voltage est plus élevé, toutes choses égales d'ailleurs. Il convient donc d'apporter à l'isolement des conducteurs d'autant plus de soin que l'on emploie des courants à plus hautes tensions.

173. Emplacement des appareils. — Dynamos. — Les dynamos doivent être placées le plus près possible des machines motrices, pour que le mécanicien les ait constamment sous la main et les suive sans se déranger.

Si les dynamos sont éloignées des machines motrices, il est utile de charger en permanence un ouvrier spécial de leur surveillance. Cette surveillance consiste, comme nous l'avons vu (n° 65), à changer le calage des balais lorsqu'il se produit des étincelles, à les couper lorsqu'ils deviennent trop longs, à tourner la manivelle des rhéostats pour maintenir la force électromotrice ou l'intensité à la valeur voulue, suivant qu'on règle la distribution d'après l'un ou l'autre de ces facteurs ; à polir de temps en temps la surface des collecteurs, et enfin à graisser abondamment les coussinets de l'arbre de la dynamo.

174. Accumulateurs. — Rhéostats. — Disjoncteurs automatiques. — Les accumulateurs seront installés dans un local fermé et bien aéré, pour éviter l'action corrosive de la vapeur d'eau chargée d'acide sulfurique, qui se répand dans l'atmosphère pendant la fin de la charge. L'emplacement de la batterie sera choisi autant que possible à proximité de la dynamo, afin de réduire la perte de tension occasionnée par la ligne, et de pouvoir confier à la fois au même ouvrier la surveillance de la dynamo et l'entretien des accumulateurs (n° 110).

Toute installation d'accumulateurs doit comporter des rhéostats et un disjoncteur automatique. L'un des rhéostats est intercalé dans le shunt de la dynamo, et l'autre dans la ligne qui envoie le courant de la machine à la batterie ; le réglage du courant qui doit rester compris entre des limites déterminées (nos 90 et 91) se fait par la manœuvre de ces appareils.

Comme nous l'avons vu au n° 56, il convient de choisir

des machines excitées en dérivation pour la charge des accumulateurs, lorsqu'on fait une installation nouvelle; si l'on ajoute une batterie à une ancienne installation, on peut toutefois se servir de dynamos compound ou en série, mais à la condition expresse de placer dans la ligne un disjoncteur automatique (n° 71), de façon à éviter les courants de retour susceptibles de détériorer la dynamo. Cet appareil, indispensable dans ce cas, est encore utile même si l'on se sert de dynamos excitées en dérivation. Le courant de retour ne peut en effet dépolariser les électros dans ces dernières machines mais il est toujours défavorable au bon fonctionnement des appareils. Lorsqu'il se produit, les accumulateurs peuvent se décharger rapidement sur la dynamo en détériorant l'induit; afin d'éviter tout accident de ce genre, il est préférable de couper automatiquement le circuit lorsque le courant tend à changer de sens dans la ligne.

Le disjoncteur doit être également placé sous le contrôle constant de l'ouvrier chargé de la surveillance de la dynamo, et il peut être utile d'installer un avertisseur automatique indiquant le moment où le circuit est coupé.

En général, il est à désirer que l'avertisseur ne fonctionne qu'au moment où la dynamo a acquis toute sa vitesse, sans quoi la force électromotrice de la machine pourrait être inférieure à celle de la batterie (n° 71). Si, à ce moment, on appuyait sur le levier du disjoncteur, on s'exposerait, en établissant la communication trop tôt, à provoquer un courant de retour, dont nous venons d'indiquer les conséquences fâcheuses.

Comme avertisseur, on peut employer une sonnerie électrique actionnée par une dérivation A D C R S B prise sur les conducteurs mêmes de la dynamo (fig. 44). Si l'on branchait directement une sonnerie ordinaire sur une dynamo, le courant serait beaucoup trop énergique; il brû-

lerait instantanément les fils de la sonnette et serait susceptible de mettre hors de service l'induit de la dynamo. Pour éviter cet accident, il est indispensable d'intercaler

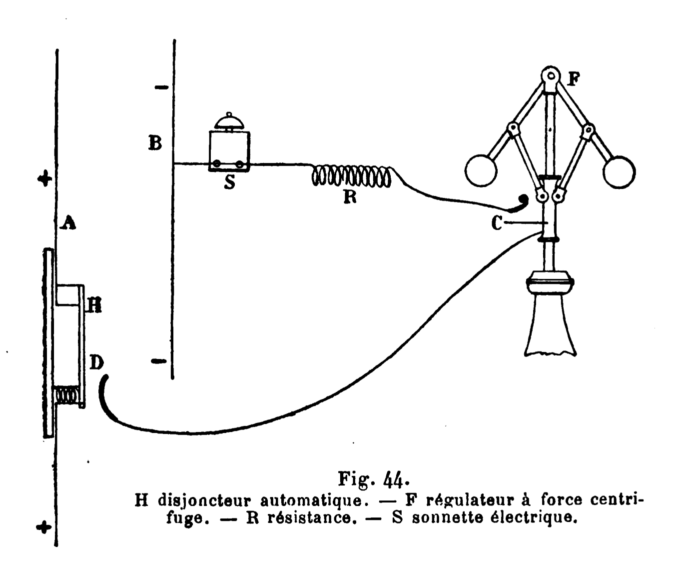


Fig. 44.
H disjoncteur automatique. — F régulateur à force centrifuge. — R résistance. — S sonnette électrique.

dans la dérivation une résistance considérable R, de plusieurs centaines d'ohms, calculée de manière à ne laisser passer dans la sonnerie que l'intensité nécessaire à son bon fonctionnement, soit en général une fraction d'ampère. Une bobine de fil fin de ferro-nickel ou de maillechort remplit très bien le but. Pour être averti du moment où le circuit est coupé, il suffit d'établir dans la dérivation un contact à ressort très doux D, contre lequel vient buter le levier du disjoncteur lorsqu'il se lève. Si l'on désire que l'avertisseur ne fonctionne que lorsque la machine a acquis toute sa vitesse, on peut établir dans la dérivation un deuxième contact C actionné par un régulateur à force cen-

trifuge, par exemple celui de la machine motrice, puisqu'en général la vitesse de cette dernière est proportionnelle à celle de la dynamo, quelles que soient les transmissions intermédiaires qui les séparent. La figure indique le schema de la disposition qui vient d'être décrite.

Un avertisseur installé de cette façon ne fonctionne que lorsque le circuit des accumulateurs est coupé, et lorsque la dynamo a toute sa vitesse, c'est-à-dire quand sa force électromotrice est supérieure à celle de la batterie. En n'appuyant sur le levier du disjoncteur que lorsqu'on entend la sonnerie, on est certain de rétablir le courant dans le sens convenable. Un semblable appareil rend de très grands services, surtout quand la dynamo et les accumulateurs ne sont pas sous la surveillance immédiate du même ouvrier. Il faut, dans ce cas, placer le disjoncteur et l'avertisseur dans la salle où se trouve le mécanicien chargé de la conduite des machines.

175. Interrupteurs. — Chaque lampe doit être munie d'un interrupteur, appareil destiné à ouvrir et à fermer le circuit à volonté ; exceptionnellement, dans le cas d'un lustre par exemple, le même interrupteur peut desservir un petit nombre de lampes.

Un interrupteur général doit permettre d'éteindre, le cas échéant, toutes les lampes à la fois. De plus, si la canalisation comporte plusieurs branchements qui alimentent des foyers placés dans des directions différentes, il est bon de munir chaque conduite générale d'un interrupteur qui permet d'isoler séparément chaque groupe de lampes, suivant les exigences du service de l'éclairage.

Dans le cas de fortes tensions, il convient d'employer sur la conduite générale et même sur les branchements particuliers des interrupteurs *bipolaires*, c'est-à-dire coupant la communication à la fois sur le fil positif et sur

le fil négatif. Un interrupteur ordinaire imparfait peut laisser en dérivation un circuit parasite dans lequel passera une faible fraction du courant, laquelle est d'autant plus importante que le potentiel est plus élevé. Un interrupteur bipolaire présente à cet égard beaucoup plus de garanties qu'un interrupteur simple.

176. Coupe-circuit. — A la suite de chaque interrupteur des branchements importants et de la conduite générale, on doit placer un *coupe-circuit* à fil fusible. Il est bon aussi d'intercaler un petit coupe-circuit dans la dérivation de chaque lampe. On emploie dans chaque cas des fils fusibles suffisants pour permettre au courant normal de passer, mais qui se fondent lorsque l'intensité dépasse une limite dangereuse pour la conservation des appareils, par exemple lorsqu'elle atteint une fois et demie la valeur maxima à laquelle elle peut arriver en service courant.

L'emploi judicieux de coupe-circuit permet d'éviter de graves inconvénients, par exemple la destruction instantanée de toutes les lampes à incandescence d'une distribution, ou des détériorations dans l'armature de la dynamo, qui pourraient se produire si, par un défaut de surveillance, on laissait à un moment donné le courant acquérir une intensité exagérée.

Lorsqu'on emploie des résistances de réglage en fil nu de ferro-nickel (n° 137), il faut les isoler des murs et des boiseries par de l'ardoise, du marbre, ou par un corps quelconque non susceptible de brûler. S'il survenait en effet par inadvertance qu'une communication défectueuse entre deux fils produisît un courant très peu résistant dans une dérivation où est intercalée l'une de ces résistances, l'intensité élevée du courant ainsi déterminé arriverait rapidement à faire rougir la spirale de ferro-nickel, qui pourrait communiquer le feu aux corps environnants.

Par mesure de prudence, dans ce cas, on doit mettre les coupe-circuit des dérivations secondaires entre la source d'électricité et la résistance de ferro-nickel, pour interrompre le courant lorsque l'intensité atteint une limite dangereuse, comme l'indique la figure 45. Si au contraire on les

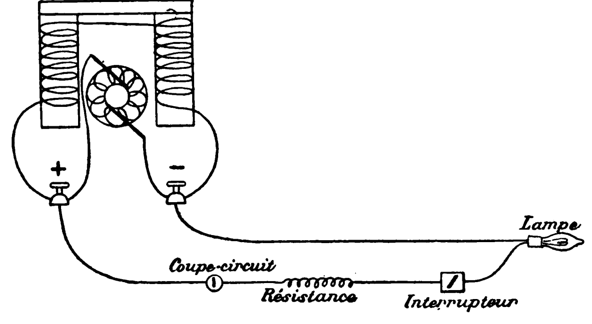


Fig. 45.

plaçait comme le montre la figure 46, et qu'un accident (par exemple un coup de marteau frappé maladroitement sur les fils et les mettant en contact à nu) vînt à établir une communication au point *b*, le circuit N *r b d s*, débarrassé des lampes, deviendrait très peu résistant ; la spirale de ferro-nickel s'échauffant considérablement par suite de sa grande résistance relative, rougirait très vite et pourrait provoquer des accidents.

Pour la même raison, il est nécessaire de placer les coupe-circuit sur chaque circuit partiel *immédiatement* après le point de branchement des fils de dérivation des conducteurs généraux.

Lorsque sur une ligne l'intensité dépasse 10 ampères, il est bon, par mesure de précaution, d'employer des coupe-circuit *bipolaires*, c'est-à-dire des appareils comprenant un fusible sur le fil positif et un autre sur le fil négatif de chaque conduite.

De même, lorsqu'on n'est pas certain de pouvoir placer, par suite de l'enchevêtrement des fils, tous les coupe-circuit sur le même fil comme nous l'avons conseillé au n°

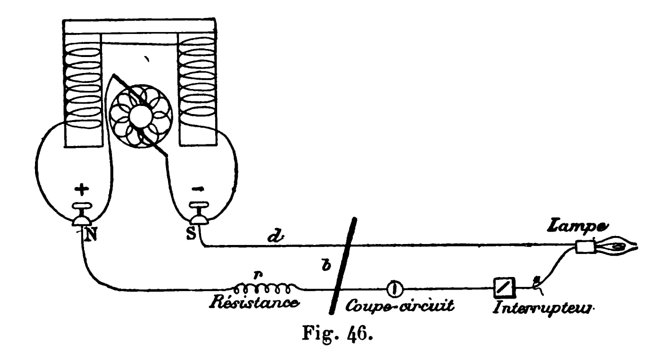


Fig. 46.

170, il est utile de placer un coupe-circuit sur chacun des deux fils. Il pourrait se faire en effet qu'un fil négatif et un fil positif dénudés accidentellement vinssent à se toucher en établissant une dérivation à résistance très faible. Si tous les coupe-circuit sont sur un même fil, et placés près de la naissance des branchements de la dérivation, le circuit anormal ainsi formé sera forcément protégé ; cette condition pourrait ne plus être remplie si les coupe-circuit étaient placés au hasard et si précisément il ne s'en trouvait pas sur le trajet des deux fils mis à nus en contact.

Par exemple, dans la canalisation d'un grand lustre, les fils sont quelquefois assez enchevêtrés pour qu'on ne reconnaisse pas le positif du négatif. En se servant de coupe-circuit bipolaires, on évite les inflammations des enveloppes des conducteurs ; dans les installations où ces précautions ne sont pas prises, ces accidents sont assez fréquents, ainsi que chacun a pu le constater.

Les fils des coupe-circuit sont en général en plomb ou

en alliage de plomb, d'étain et de bismuth. Il n'est pas possible de donner d'indication précise relative à leur diamètre, car leur point de fusion, pour une même grosseur, varie avec leur composition.

Il est toujours facile de vérifier, par une expérience directe, la valeur du courant qui produit la fusion des fils des coupe-circuit livrés par les constructeurs ; nous avons fréquemment constaté que des fusibles fournis par des maisons de premier ordre, ne se cassaient que pour une intensité cinq ou six fois plus élevée que celle du courant maximum qu'ils devaient laisser passer. Aussi considérons-nous comme indispensable une vérification attentive des fusibles des coupe-circuit avant la mise en service d'une installation.

Les vis qui serrent les fils fusibles dans leurs supports doivent toujours être serrées à bloc ; sans cette précaution, il peut se produire aux points de contact un échauffement anormal qui provoque la fusion du fil avant que le courant n'est atteint sa valeur maxima.

177. Parafoudre. — Lorsqu'une canalisation comporte des portions de conducteur extérieur et nu, il est bon de la protéger contre la foudre, qui pourrait causer des dégâts considérables aux appareils et à la dynamo. Dans ce but, on relie à la terre un point de la ligne exposée, au moyen d'un câble de 4 ou 5 millimètres de diamètre, dans lequel on intercale deux peignes métalli-

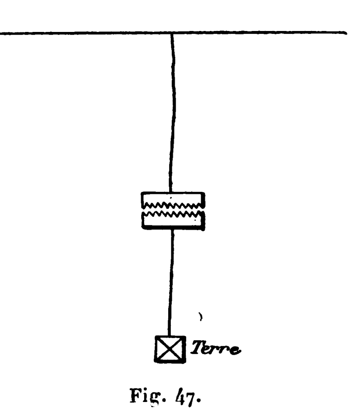


Fig. 47.

ques (fig. 47) dont les extrémités sont à une faible distance l'une de l'autre. En temps ordinaire, le courant suit son chemin normal et aucune dérivation ne passe par le parafoudre lorsqu'il est bien établi ; mais si un coup de foudre atteint le conducteur protégé, la très haute tension de la décharge atmosphérique lui permet de franchir la distance des pointes des peignes, et la foudre passe dans la dérivation à la terre sans causer de dommages à la ligne.

178. Tableaux de distribution. — Tous les organes dont nous avons fait mention, commutateurs, interrupteurs, coupe-circuit, rhéostats, disjoncteurs, ainsi que les instruments de mesure, ampèremètre et voltmètre, doivent être sous les yeux et à portée de la main de l'ouvrier chargé de la surveillance de l'installation. Il est commode de les grouper tous sur un même tableau appelé *tableau de distribution*.

Les tableaux de distribution se font en bois verni, en marbre ou en ardoise ; on y dispose tous les appareils dans un ordre facile à suivre, avec des étiquettes indiquant à première vue le sens des manœuvres à exécuter, afin d'éviter toute chance d'erreur.

Dans le cas où des manœuvres de clefs diverses doivent être toujours exécutées par un ouvrier dans un même ordre déterminé et invariable, on peut combiner avec avantage une série de fermetures à clenche et à verrou analogues à celles qui sont employées dans les chemins de fer pour les mouvements d'aiguilles dans certains dispositifs du *block-system*.

Les différents organes du tableau sont reliés par des fils à des *bornes* auxquelles aboutissent tous les conducteurs de l'installation. Cette disposition est nécessaire pour permettre de démonter facilement le tableau ou de changer les fils, si l'on en éprouve le besoin.

Il est impossible de donner des règles fixes pour la construction de ces tableaux : il faut s'inspirer dans chaque cas des exigences spéciales de l'installation.

La figure 48 fera comprendre dans quel ordre d'idées on les établit. Le tableau qui y est figuré est relatif à une dynamo destinée à la charge d'accumulateurs. Il permet, soit d'envoyer dans la canalisation le courant de la dynamo seule, soit de charger les accumulateurs, soit d'envoyer dans la canalisation le courant des accumulateurs seuls.

Les fils de la dynamo aboutissent aux bornes A B ; ceux de la batterie d'accumulateurs aux bornes E F et les conducteurs du circuit d'utilisation partent des bornes C D.

L'ampèremètre, comme nous l'avons vu (nº 68), est intercalé dans le circuit ; au contraire, le voltmètre est monté en dérivation ; on y fait les lectures en poussant sur les boutons X ou Y, suivant le cas.

Chaque circuit comprend un commutateur simple ou interrupteur et un coupe-circuit. Un commutateur à deux directions permet d'envoyer le courant dans un circuit ou dans l'autre. Le conducteur allant de la dynamo aux accumulateurs contient un disjoncteur automatique. En outre, sur le tableau a été placé le rhéostat d'excitation de la dynamo (nº 63).

Tous les fils du tableau sont apparents et aboutissent aux bornes d'où partent les extrémités des différents circuits.

Voici les manœuvres à exécuter pour chaque opération :

1º Le courant direct de la dynamo est envoyé dans le circuit. — Mettre sur la touche nulle (*j m*) le commutateur nº 1 à double direction ; tourner la manette des interrupteurs nºs 2 et 3.

Le courant suit le chemin A *a b p o e f q r d c* C D B.

Les indications du voltmètre sont données en pressant sur le bouton X par la dérivation A α β *g h* B.

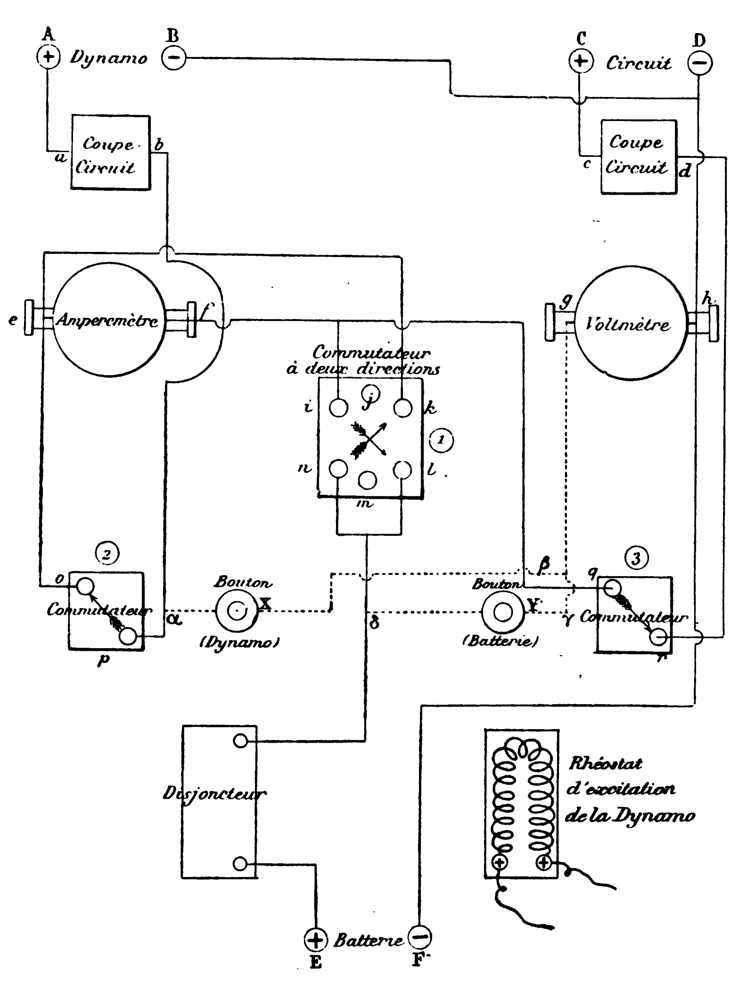

A
B
Dynamo
C
D
Circuit
Coupe Circuit
a
b
c
d
Ampèremètre
e
f
Voltmètre
g
h
Commutateur à deux directions
i
j
k
n
l
m
1
2
3
o
p
q
r
Commutateur
Bouton
(Dynamo)
X
Bouton
(Batterie)
Y
α
β
γ
δ
Disjoncteur
Rhéostat d'excitation de la Dynamo
Batterie
E
F

Fig. 48.

2° La dynamo charge les accumulateurs. — Mettre le commutateur à deux directions n° 1 sur la ligne *i l*; fermer le circuit de l'interrupteur n° 2, ouvrir celui de l'interrupteur n° 3.

Circuit A *a b p o e f i l* E F B.

Voltmètre. Bouton X. — Dérivation A α β *g h* B.

3° Le courant des accumulateurs est envoyé dans le circuit. — Mettre le commutateur n° 1 sur la touche *n k*; ouvrir le circuit de l'interrupteur n° 2; fermer celui de l'interrupteur n° 3.

Circuit E *n k e f q r d c* C D F.

Voltmètre. Bouton V. — Dérivation E δ γ β *g h* F.

Nous verrons plus loin d'autres exemples de tableaux de distribution; mais dans tous les cas on arrive facilement à les construire et ils rendent de réels services lorsqu'ils sont bien compris.

En terminant ce chapitre, nous attirerons spécialement l'attention du lecteur sur une considération importante : tous les chiffres indiqués, aussi bien jusqu'à présent que dans la suite de cet ouvrage, ne sont que des moyennes, généralement admises pour les cas ordinaires de la pratique, mais susceptibles de variations avec la provenance des appareils et le soin apporté dans leur établissement. Les données numériques que nous citons peuvent servir à la rédaction des projets; mais, dans leur exécution, il faut s'enquérir, auprès des constructeurs, de tous les renseignements susceptibles de présenter de l'intérêt au point de vue de l'installation spéciale qu'il s'agit d'établir.

Prenons un exemple : nous avons dit que les lampes à incandescence absorbent en général 3,5 watts par bougie (n° 126), et tous nos calculs de canalisations sont présentés en partant de cette donnée. Si, pour une raison spéciale, on adopte une autre moyenne de dépense, le nouveau coefficient peut avoir une influence assez notable sur le diamè-

tre des fils, sur l'emploi des résistances de réglage, etc., et c'est par suite d'après ce chiffre qu'il faudra établir les calculs relatifs à la détermination des conducteurs.

Après l'établissement de la canalisation, il est d'ailleurs très facile de reconnaître si les données dont on est parti sont exactes, en mesurant au moyen d'un voltmètre la différence de potentiel aux bornes de quelques lampes, lorsqu'elles sont allumées, après avoir un peu gratté l'enveloppe des deux fils qui les alimentent (en deux points différents pour éviter un faux contact). Si le chiffre indiqué par l'instrument de mesure correspond bien au voltage que l'on doit trouver, l'installation est bonne ; le contraire signale une erreur d'exécution, à laquelle il est d'ailleurs presque toujours facile de remédier en modifiant convenablement les résistances des conducteurs.

Il est toujours bon, avant d'entreprendre la pose des fils d'une canalisation, de vérifier approximativement les conditions d'emploi des lampes que l'on désire utiliser, en branchant une seule lampe sur la dynamo au moyen d'un conducteur fin, de longueur et de résistance connues. Les indications du voltmètre et de l'ampèremètre permettent de calculer tous les éléments du circuit ainsi formé et de se rendre compte de l'exactitude pratique des chiffres annoncés par le constructeur.

SIXIÈME PARTIE.

Prix de l'éclairage électrique.

---

179. Dépenses d'installation et d'entretien. — Le prix de revient d'un éclairage électrique comprend deux parties bien distinctes : la dépense proprement dite de l'installation, et la dépense d'entretien journalier de l'exploitation.

La dépense d'installation comprend le prix d'achat des appareils et leur pose. Nous allons successivement passer en revue ces différents éléments.

180. Dynamos. — Le prix des dynamos est variable suivant le soin avec lequel elles sont construites, suivant leur vitesse et leur rendement. Elles sont d'autant plus chères que leur vitesse est moindre et que leur rendement est meilleur. Dans une série de machines du même type, le prix rapporté au kilowatt est d'autant plus élevé que le modèle est plus petit.

On peut compter en moyenne pour les machines à rendement moyen et à allure rapide, qui sont pour ainsi dire les seules employées dans les petites installations, sur un prix d'achat de

0,45	par watt pour les	modèles de	1 000 watts ;
0,20	—	—	5 000 watts ;
0,15	—	—	20 000 watts ;
0,12	—	—	50 000 watts ;

les prix intermédiaires variant d'ailleurs graduellement avec la puissance entre ces limites.

Il faut ajouter à ce prix d'achat les frais d'installation, comprenant le massif de fondations, la plaque d'isolement, le cadre à rainures (nº 61), les transmissions de renvoi et intermédiaires, les courroies, etc. La valeur de ces organes et matériaux, naturellement très variable suivant les circonstances locales, peut être évaluée grossièrement dans un avant-projet à une quantité variant entre le cinquième de la valeur de la machine pour les petits modèles et le dixième pour les modèles moyens.

Ainsi une dynamo de 200 ampères et 70 volts, soit de 14 000 watts, coûterait environ 2 200 francs d'achat et 220 francs d'installation, en admettant que la transmission de commande soit à proximité de la dynamo.

181. Accumulateurs. — Le prix des accumulateurs au plomb est assez variable suivant leur mode de fabrication et suivant leur capacité. Les accumulateurs destinés à être déchargés rapidement et ceux à grande capacité sont plus chers que ceux pour lesquels la décharge se maintient dans les limites normales que nous avons indiquées.

En moyenne, on peut compter sur les prix suivants pour les accumulateurs formés et prêts à être montés :

Accumulateurs de	10	kilogrammes de plaques.	25	fr.	pièce.
—	50	—	—	100	—
—	100	—	—	150	—

Le poids des plaques indiqué ci-dessus se rapporte au plomb dont sont composées les électrodes (nº 85) ; c'est celui qui correspond à une capacité de 6 ampères-heure par kilogramme de plaques et à un débit à la décharge de 1 ampère à 1,5 ampère par kilogramme de plaques.

Il faut ajouter à ces prix la valeur des accessoires, isolateurs, boulons des connexions, acide, etc., atteignant de 3 à 5 francs par élément.

182. Compteurs. — Le prix des compteurs est variable suivant leur mode de construction. Il est plus élevé pour les appareils enregistrant les watts que pour ceux qui ne tiennent compte que des coulombs et qui s'appliquent aux distributions à potentiel constant (nº 70). Voici quelques prix pour les canalisations ordinaires :

	de 0 à 50 ampères	de 0 à 200 amp.	de 0 à 500 amp.
	—	—	—
Coulombs-mètre	180 fr.	200 fr.	250 fr. pièce.
Watts-heure-mètre	200 fr.	300 fr.	350 fr. —

183. Lampes à incandescence. — Les lampes à incandescence, qui valaient 5 francs il y a très peu d'années, se fabriquent aujourd'hui à de bien meilleures conditions. On trouve de très bonnes lampes, bien tarées et brûlant plus de 1 000 heures, avec une consommation de 3,5 watts par bougie pour 1 fr. ou 1 fr. 10 pièce.

Ce prix s'applique aux lampes les plus usuelles, de 8 à 20 bougies. Les plus petites lampes valent de 0 fr. 75 à 1 fr. ; la valeur des plus grosses est un peu plus élevée, par exemple 1,50 fr. de 30 à 50 bougies.

184. Appareillage. — Les lampes à incandescence sont montées sur des douilles qui valent 1 franc pièce environ.

Les lustres, supports et appliques ont des valeurs très différentes suivant le luxe qu'ils comportent. Leur prix varie de 5 à 100 francs par bec.

185. Lampes à arc. — Le prix des lampes à arc est également assez variable avec les constructeurs. De même que celui des lampes à incandescence, il a beaucoup diminué dans ces dernières années.

Les lampes de 30 à 50 carcels reviennent environ à 100 fr., y compris la lanterne, le globe, le cendrier et la chaînette de suspension.

Les régulateurs de 100 carcels et au-dessus coûtent de 120 à 150 francs pièce, y compris les mêmes accessoires.

186. Charbons. — Le prix des charbons varie suivant leur qualité. Le tableau suivant donne le prix moyen du mètre linéaire :

Diamètres en millimètres.		6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20mm
Prix en fr. des charbons.	homogènes.	0,21	0,22	0,23	0,25	0,27	0,31	0,36	0,45	0,60	0,75	1 f.
	à âme centrale.	0,25	0,26	0,27	0,29	0,31	0,35	0,40	0,50	0,67	0,85	1f,10

187. Fils conducteurs. — Les fils de cuivre conducteurs nus et étamés, de haute conductibilité, valent environ 3 francs le kilogramme. On en déduit les valeurs suivantes pour le prix du kilomètre de fil :

Diamètres en millimètres	1	2	3	4	5mm.
Prix du kilomètre	21	84	189	336	525f.

Les câbles nus coûtent un peu plus cher, environ 3 fr. 25 le kilogramme. Ces prix varient légèrement suivant le cours des métaux.

Le prix des fils recouverts est très variable avec la nature et le degré de l'isolation. Le tableau suivant donne le prix du kilomètre des fils et câbles présentant les isolements les plus usités :

1° Fils recouverts.

Diamètres en millimètres.		1	2	3	4	5mm.
Prix du kilomètre.	Isolement léger.	95	230	370	560	850f
	Isolement moyen.	125	270	480	780	1 190
	Isolement très fort.	335	550	880		
	Isolement très fort, sous plomb.	435	640	1 040		

2° Câbles recouverts.

Section du cuivre en millim. carrés.		3	10	21	48	117mm²
Prix du kilomètre.	Isolement faible.	260	640	1 200	2 450	5 560f
	Isolement moyen.	560	1 075	1 830	3 380	7 470
	Isolement très fort.	1 220	1 990	3 090	5 120	9 460
	Isolement supérieur, sous plomb.	1 620	2 400	3 550	5 970	11 320

188. Fils de rhéostats. — Les fils de ferro-nickel employés pour la construction des rhéostats coûtent de 6 à 7 francs le kilogramme. On en déduit la valeur suivante pour le prix du kilomètre de fil :

Diamètre en millimètres.	0,5	1	2	3	4	5mm.
Prix du kilomètre.	15	40	150	320	565	880f.

189. Pose des fils. — La pose des fils et petits câbles coûte de 0 fr. 10 à 0 fr. 25 le mètre, non compris les fouilles pour ceux qui sont enterrés.

190. Instruments de mesure. — Les ampèremètres de 0 à 50 ampères valent 50 francs; les voltmètres de 0 à 120 volts valent 60 francs. Pour des courants d'une intensité ou d'un voltage plus élevé, on emploie des appareils réducteurs, c'est-à-dire des boîtes composées de plusieurs conducteurs placés en dérivation, qui ne laissent passer dans l'instrument de mesure qu'une fraction du courant total, de sorte que les divisions d'un même ampèremètre, par exemple, expriment un nombre d'ampères double, triple, etc., suivant que l'appareil réducteur réduit à la moitié, au tiers, etc., le courant qui le traverse.

Les appareils réducteurs coûtent de 50 à 100 francs.

191. Disjoncteurs automatiques. — Les disjoncteurs automatiques valent 60 francs environ.

192. Ustensiles divers. — Les différents ustensiles employés ont des prix variables suivant la perfection avec laquelle ils sont construits. On peut prendre comme prix moyens les chiffres suivants :

193. Interrupteurs.

		Prix	
Interrupteurs de o à 5 ampères.		2 fr.	pièce.
—	10	5	—
—	50	8	—
—	100	20	—

Interrupteurs bipolaires : le triple des prix précédents.

194. Commutateurs.

		Prix	
Commutateurs à 2 directions de o à 5 ampères.		6 fr.	la pièce.
—	10	10	—
—	50	20	—
—	100	35	—

Commutateurs à plusieurs directions : augmentation de 20 pour 100 en plus par direction sur les prix précédents.

195. Coupe-circuit.

		Prix	
Coupe circuit de o à 5 ampères.		1 fr.	pièce.
—	20	4	—
—	50	6	—
—	100	10	—

Coupe-circuit bipolaires : le double des prix ci-dessus.
Fil fusible pour coupe-circuit. 12 fr. le kilogramme.

196. Rhéostats.

		Prix	
Rhéostats variables de	20 ohms	40 fr.	pièce.
—	100	150	—
Résistance fixe de	40 ohms	20	—

197. Isolateurs, bornes.

	Prix
Isolateurs en porcelaine, forme cloche.	1 fr. 50 pièce.
Poulies en porcelaine.	0,15 à 0,60 —
Crochets émaillés pour la pose des fils.	2 —
Bornes de contact en cuivre.	0,50 à 2 fr. pièce.
Moulures en bois pour fils	0,10 à 1 fr. par fil et par mètre.

198. Tableaux de distribution. — Le prix de revient des tableaux de distribution est très variable avec leur importance. Dans un avant-projet, on peut les compter pour une valeur égale au quart de l'ensemble des ustensiles qu'ils supportent.

199. Prix de revient de la lumière électrique. — Le prix de revient de la lumière comprend, comme nous l'avons vu au nº 179, les dépenses d'installation et d'entretien. Ce dernier facteur se subdivise lui-même en deux parties. Nous aurons donc à considérer trois éléments distincts :

1º L'amortissement du prix d'installation, qui peut être évalué au moyen des données précédentes. Dans le calcul du prix de revient du kilowatt-heure, lorsqu'on produit soi-même l'électricité, il faut faire une large part à cet amortissement. Il est nécessaire, si l'on ne veut pas avoir de mécompte, d'évaluer l'entretien et l'amortissement, par an, du capital engagé, au moins à 15 pour cent du prix d'achat des machines, et même à 20 pour cent pour la partie afférente aux accumulateurs, si l'installation en comporte. Un amortissement de 10 pour cent par an (intérêt compris) est suffisant pour la canalisation proprement dite.

2º Le prix proprement dit d'achat du kilowatt-heure d'électricité dépensée, si l'on s'abonne à une station centrale et si par suite on paye directement le nombre de kilowatts-heure marqués au compteur, ou bien le prix de la force mécanique absorbée par les dynamos si l'on produit soi-même l'électricité au moyen de moteurs. Il faut tenir compte dans cette évaluation de la dépense de charbon, ou d'eau, ou de gaz, du graissage, des frais de surveillance, etc.

3º Le remplacement des lampes à incandescence, ou celui des charbons lorsqu'on emploie des lampes à arc,

On calcule le prix du kilowatt-heure, comme nous le verrons plus loin dans les exemples d'application pratique, et on l'applique aux becs de l'installation, en tenant compte des données numériques que nous avons indiquées : par exemple, une lampe à incandescence de 16 bougies demande 3,5 watts par bougie, soit 56 watts (nº 126) ; un foyer à arc de 30 carcels demande 6 watts par carcel, soit 180 watts (nº 157), etc.

200. Heures d'éclairage. — Comme l'amortissement du prix de l'installation s'applique à toute l'année, si l'on désire savoir à combien revient l'heure de la lumière, il est nécessaire de connaître le nombre d'heures pendant lesquelles l'éclairage fonctionne pendant l'année entière.

On peut adopter approximativement, à Paris, les moyennes suivantes. Dans les ateliers ouverts de 7 heures du matin à 6 heures du soir, on est obligé d'éclairer en moyenne 380 heures pour l'année entière ; de 7 heures du matin à 8 heures du soir, la durée de l'éclairage est de 740 heures pour l'année ; au delà de cette limite, il suffit d'ajouter à ce chiffre 365 heures par an pour chaque heure supplémentaire par jour. Dans les appartements où l'on éclaire les chambres depuis le coucher du soleil jusqu'à onze heures du soir en moyenne, on est obligé d'allumer les lampes 1 820 heures pendant l'année entière.

201. Renseignements généraux. — D'après ce que nous venons de voir, il paraît bien difficile de donner des indications précises sur le prix de revient de la lumière électrique. Nous examinerons plus loin des exemples détaillés d'installations, pour lesquels nous calculerons dans chaque cas particulier le prix probable de l'éclairage. A titre de simple indication, on peut citer les chiffres suivants :

Une installation de lampes à incandescence coûte en

moyenne de 30 à 80 francs par bec de 16 bougies; bien entendu, la valeur la plus élevée se rapporte aux petites installations et à celles qui comportent des accumulateurs. Ce prix comprend la part proportionnelle provenant de l'achat de la dynamo, des fils conducteurs, de l'appareillage, etc.

Il en est de même des foyers à arc. Le prix d'installation par carcel est d'autant plus faible que les régulateurs sont plus intenses et que leur nombre est plus grand. Ainsi un seul foyer de 150 carcels revient en moyenne à 700 francs, tandis qu'une installation comprenant 30 foyers coûte à peu près 12 000 francs, soit 400 francs par foyer. — Un seul régulateur de 50 carcels coûte environ 500 francs d'installation; pour 50 foyers du même type, ce prix s'abaisserait à 250 francs en moyenne par foyer.

202. Comparaison avec l'éclairage au gaz. — En adoptant les chiffres précédents comme prix de revient moyens des foyers électriques, on peut établir la comparaison entre le prix de cet éclairage à l'électricité et celui de l'éclairage au gaz. Nous allons successivement examiner le cas de lampes à incandescence et de lampes à arc.

203. Lampes à incandescence. Eclairage direct par dynamo. — Supposons que nous produisions nous-mêmes l'électricité au moyen d'un moteur spécial. Cette machine fait tourner une dynamo qui alimente des lampes à incandescence de 16 bougies, lesquelles doivent être allumées pendant 1 000 heures par an. Admettons qu'en moyenne l'installation complète d'une de ces lampes de 16 bougies ait couté 60 francs. Etablissons d'après ces données le prix de revient de l'allumage de l'un de ces foyers pendant une heure. Il se compose des éléments suivants :

1° L'intérêt et l'amortissement du prix d'installation

raison de 15 pour 100 par an (n° 199) s'élevant à 9 fr. pour l'année, soit par heure. 0,009

2° Force motrice. Le prix de revient du cheval-vapeur dans une petite installation peut-être évalué à 0 fr. 20 par heure, comprenant le combustible, l'amortissement des générateurs et du moteur, et le graissage; les frais d'ouvriers et de surveillants sont estimés 0 fr. 10 par cheval-heure, soit en tout 0 fr. 30.

Une lampe de 16 bougies, soit 56 watts à raison de 3,5 watts par bougie, absorbe théoriquement un nombre de chevaux-vapeur égal à

$$\frac{56}{9{,}808 \times 75} = 0{,}076 \text{ cheval-vapeur (n° 31).}$$

Pratiquement, il faut majorer ce chiffre de 10 pour 100 pour la perte en ligne, puis de 30 pour 100 afin de tenir compte des coefficients de rendement de la dynamo, des transmissions, etc. On arrive ainsi au chiffre de 0,11 cheval, correspondant par suite à une dépense par heure de. . . . . 0 fr. 033

3° Remplacement des lampes. Une lampe de 1,10 fr. dure 1 000 heures (n° 128). Le prix correspondant au remplacement des lampes est donc, par heure, de. . . . 0 fr. 001

En fin de compte, on arrive à trouver qu'une lampe de 16 bougies, dans une petite installation, coûte environ 0 fr. 043 par heure d'éclairage, ou que le carcel-heure revient à

$$\frac{0{,}043 \times 10}{16} = 0 \text{ fr. } 027$$

puisque le carcel vaut environ 10 bougies (n° 119).

Nous avons vu qu'une pareille lampe avait un pouvoir éclairant équivalent à celui d'un bec de gaz Bengel brûlant 180 litres à l'heure. Si le gaz vaut 0 fr. 30 le mètre cube, comme à Paris, un bec brûlant 180 litres coûtera

o fr. 054 par heure pour la dépense de gaz seule, non compris l'amortissement de la canalisation du gaz, et o fr. 059 en comprenant cet amortissement. Le carcel-heure de lumière émise par un bec de gaz Bengel, y compris l'amortissement de la canalisation, reviendrait à

$$\frac{0,059 \times 10}{16} = 0 \text{ fr. } 37$$

Dans ces conditions, l'électricité présente un certain avantage sur l'éclairage ordinaire au gaz. Aujourd'hui, il faut faire entrer en parallèle avec la lumière électrique, non seulement l'ancien mode d'éclairage au gaz par les becs Bengel, Manchester ou papillons, mais encore l'éclairage par les becs Auer. Ces nouveaux brûleurs ne consomment que 25 litres par carcel-heure. Etablissons le prix de revient du carcel-heure pour le bec Auer comme nous venons de le faire pour la lampe à incandescence.

1° Le prix d'installation d'un bec de gaz Auer (dans des conditions analogues à celles où l'installation d'une lampe à incandescence revient à 60 fr.) peut être évalué à 100 fr. L'intérêt et l'amortissement de cette somme, décomptés à 10 pour 100, ressort à 10 fr. par an, soit par heure. . . . . o fr. 010

2° Un bec Auer du type le plus courant consomme 120 litres à l'heure et son pouvoir éclairant s'élève à 48 bougies. A raison de o fr. 30 par mètre cube, la dépense de gaz est de. . . . . o fr. 036

3° Le manchon du bec Auer est d'une fragilité excessive ; il faut compter remplacer au moins un manchon par an, plus un verre à gaz, soit 3 fr. 75 pour 1 000 heures, ou par heure. . . . . o fr. 004

En résumé le prix de revient de 48 bougies-heure ne ressort qu'à o fr. 50 et le carcel-heure à

$$\frac{0,050 \times 10}{48} = 0 \text{ fr. } 010$$

Ce prix est notablement inférieur à celui de l'éclairage par lampe à incandescence, et sans aucun doute l'essor actuel de l'éclairage électrique dans les habitations particulières serait considérablement atténué si le bec Auer n'avait pas un défaut qui, à notre avis, acquiert une grande importance lorsqu'il s'agit d'un éclairage de luxe. La lumière émise par ce nouveau brûleur a en effet une teinte blafarde que tout le monde connaît et qui nuit considérablement à l'aspect décoratif des appartements où les progrès des installations électriques sont aujourd'hui si rapides.

Au moment où nous écrivons ces lignes, il est question d'appliquer l'acétylène à l'éclairage public et privé. Ce gaz, qui possède un pouvoir éclairant considérable, pourrait être préparé sur une vaste échelle à bas prix en décomposant l'eau par le carbure de calcium fabriqué au four électrique. Nous ignorons quel est l'avenir industriel réservé à ce nouveau mode d'éclairage, mais il est peu probable qu'il parvienne à détrôner à bref délai la lumière électrique.

204. Eclairage par accumulateurs. — Nous avons admis dans le calcul du prix de revient de l'éclairage électrique, que l'électricité était directement produite par des dynamos, sans passer par l'intermédiaire d'accumulateurs. Dans ce dernier cas, en effet, il faut tenir compte du faible rendement de ces ustensiles (nº 95). Comme il est impossible d'espérer, pour des accumulateurs, un rendement permanent supérieur à 70 pour cent, même dans de très bonnes installations, le travail en chevaux-vapeur correspondant à l'éclairage de la lampe considérée doit être majoré dans le rapport de 70 à 100 et par suite la dépense de force motrice atteint 0 fr. 047 par heure ; il faut également ajouter à l'amortissement de l'installation celui des accumulateurs, soit environ 0 fr. 012.

On arrive ainsi à un total de 0 fr. 069 par heure pour la lampe de 16 bougies, dans de petites installations, lorsqu'on emploie des accumulateurs, soit 0 fr. 043 par carcel-heure. On voit que ce prix est relativement très élevé et que dans ces conditions l'éclairage électrique à incandescence ne pourrait pas soutenir la concurrence du gaz.

Nous avons supposé, il est vrai, les circonstances les plus défavorables pour l'électricité : d'une part l'emploi d'accumulateurs, et de l'autre, l'usage d'un moteur spécial pour actionner les dynamos.

Si, au lieu de cela, la dynamo est mise en mouvement par une transmission secondaire menée par le moteur général d'une usine ; si elle est installée, comme nous l'avons conseillé, tout près de la salle des machines, de telle sorte que le mécanicien puisse la conduire en même temps que ses moteurs, les conditions sont un peu améliorées : le prix du cheval-heure de force motrice, frais accessoires compris, pourra être réduit à 0 fr. 15, si les machines à vapeur sont d'une moyenne importance et bien construites, de sorte que le prix de revient total de l'éclairage d'un bec de 16 bougies ressortira seulement à 0 fr. 026 par heure dans le cas de l'éclairage direct, et à 0 fr. 045 dans le cas de l'éclairage par accumulateurs, ce qui correspond respectivement à 0 fr. 016 (éclairage direct) et à 0 fr. 028 (accumulateurs) pour le prix du carcel-heure.

205. Résumé. — On voit, d'après ces calculs assez approximatifs, mais dans lesquels nous avons fait tous nos efforts pour établir une comparaison équitable entre le gaz et l'électricité, que le prix de revient de la lumière à incandescence est très variable suivant les conditions de l'établissement où on l'installe.

Le tableau ci-dessous résume les résultats précédents.

Modes d'éclairage.			Prix de revient moyen du carcel-heure dans une petite installation.
—			—
Lampe à incandescence.	Dynamo actionnée par :	un moteur spécial.	$0^{f},027$
		les transmissions générales de l'usine.	$0^{f},016$
	Accumulateurs avec dynamo actionnée par :	un moteur spécial.	$0^{f},043$
		les transmissions générales de l'usine.	$0^{f},028$
Gaz.	Bec Bengel.		$0^{f},037$
	Bec Auer.		$0^{f},010$

Nous avons supposé dans nos exemples que le moteur de l'usine productrice de l'électricité était une machine à vapeur. Si l'on emploie un moteur hydraulique, les prix de revient sont un peu plus faibles que dans le premier cas ; si l'on se sert au contraire d'un moteur à gaz, ils sont en général sensiblement plus élevés.

206. Lampes à arc. — Supposons que, dans une usine éclairée au moyen de lampes à arc, on produise directement la lumière par une dynamo alimentant des régulateurs de 50 carcels, et que chaque bec de 50 carcels ait coûté 300 francs d'installation première, y compris la portion de la canalisation et de la dynamo qui lui est afférente.

Le prix de revient de l'éclairage de ce bec pendant une heure comprend les éléments suivants :

1° Intérêt et amortissement, à 15 pour 100, du prix d'installation de 300 francs, soit 45 francs pour l'année. Si, comme dans l'exemple précédent, nous admettons 1 000 heures d'éclairage par an, la fraction de l'amortissement correspondant à une heure est égale à. . . . o fr. 045

2° Force motrice. Supposons que le régulateur exige 5,75 watts par carcel (n° 157), la dépense totale pour le foyer sera de 287,5 watts pour 50 carcels, soit

$$\frac{287,5}{9,808 \times 75} = 0,39 \text{ cheval-vapeur (n° 31)},$$

en admettant un rendement théorique de 100 pour 100 pour la dynamo.

Nous avons vu qu'il faut d'abord majorer ce chiffre de 40 pour 100 environ afin de tenir compte de la perte absorbée par le rhéostat de réglage (n° 158), qu'on est obligé de placer dans la dérivation des lampes à arc. On arrive ainsi à 0,55 cheval-vapeur pour chaque foyer. En outre, comme dans le cas des lampes à incandescence, il y a lieu de tenir compte du rendement de la dynamo et des transmissions mécaniques. Pour cela il faut augmenter le chiffre précédent de 30 pour 100. On obtient alors environ 0,72 cheval-vapeur par foyer.

En admettant pour le prix du cheval-vapeur une moyenne de 0 fr. 20 par heure, comprenant tous frais accessoires, la dépense de force motrice peut être évaluée, par heure, à. . . . . 0 fr. 144

3° Remplacement des charbons. Le remplacement des charbons constitue une dépense constante dans les lampes à arc, tout comme le remplacement des ampoules dans le cas de l'incandescence. Nous avons vu (n° 159) que l'intensité du courant nécessaire aux régulateurs de 50 carcels est à peu près égale à 7 ampères. On emploie pour cette intensité des charbons de 8 et 12 millimètres (n° 154). Les crayons de 12 millimètres, positifs, à âme, valent environ 0 fr. 40 le mètre, et les crayons négatifs, homogènes, de 8 millimètres, coûtent 0 fr. 23 (n° 186). L'usure des charbons étant de 8 centimètres par heure en moyenne (n° 153) pour les deux réunis, soit de 5 centimètres pour le charbon positif à âme et de 3 centimètres pour le charbon négatif, la dépense occasionnée par le remplacement des charbons se monte, par heure, à. . . . . . . 0 fr. 027

Le prix de revient total résultant de l'allumage d'une pareille lampe pendant une heure se monte par suite à 0 fr. 22, soit à 0 fr. 045 par carcel-heure. Ce prix repré-

sente une moyenne et varie, bien entendu, dans des limites assez étendues suivant les conditions de l'installation. Il s'abaisse notablement lorsque le nombre et la puissance des lampes augmente ou lorsque le prix du cheval-vapeur diminue.

207. Comparaison avec l'éclairage au gaz. — Il est assez difficile d'établir une comparaison entre l'éclairage par lampes à arc et par le gaz ; la puissance lumineuse des régulateurs, destinés à éclairer une grande surface, exige en effet qu'ils soient placés à une assez grande hauteur au-dessus du sol, et par suite à une distance notable des objets à éclairer. Comme nous l'avons fait remarquer à propos de la comparaison des lampes à arc et à incandescence (nº 162), il est nécessaire de diffuser dans l'espace une très grande quantité de lumière lorsqu'on emploie l'arc. Il n'est donc pas absolument équitable de mettre en parallèle le prix de la quantité totale de lumière émise par un régulateur à arc avec celui d'une quantité de lumière équivalente obtenue au moyen de becs de gaz ordinaires.

On se rapproche de la vérité en le comparant avec le prix de revient de la lumière fournie par les becs de gaz intensifs, les becs à récupération, ou mieux encore les becs Auer.

208. Comparaison entre les prix de revient de deux quantités de lumière égales. — Les meilleurs becs à récupération consomment 50 litres de gaz par carcel et par heure. Pour obtenir un éclairage total de 50 carcels, il faut brûler 2 500 litres de gaz. En supposant le prix du mètre cube de gaz égal à 0 fr. 30, la dépense de gaz consommé par les foyers correspondants atteint 0 fr. 75 par heure, soit 0 fr. 015 par carcel-heure, non compris l'amortissement de l'installation, et 0 fr. 020 en comprenant les frais d'amortissement.

209. Comparaison entre les prix de revient de deux éclairages superficiels semblables. — Pour établir une comparaison ayant un réel caractère pratique, il est préférable de mettre en parallèle, dans chaque exemple particulier, le prix de revient de l'éclairage d'une salle par des lampes à arc, d'une part, et celui de la même salle par le gaz, d'autre part, en ne tenant plus compte de la quantité totale de lumière produite par chacun des deux systèmes concurrents, mais en se basant sur les quantités d'électricité ou de gaz à dépenser pour obtenir le même éclairement aux points les plus importants du local intéressé, par exemple au droit des machines-outils ou des établis d'ouvriers s'il s'agit d'un atelier de fabrication (nº 161).

Supposons par exemple le cas d'un atelier d'ajustage. Un foyer électrique de 50 carcels suffit pour 50 mètres carrés environ. Afin d'obtenir aux places des ajusteurs le même éclairement en se servant du gaz, il est utile d'installer, pour une surface égale, 2 becs à récupération de 15 carcels chacun, consommant chacun 750 litres de gaz. La dépense correspondante, à raison de 0 fr. 30 par mètre cube, s'élèverait à 0 fr. 45 pour la valeur du gaz seul, non compris l'amortissement de la canalisation et de l'appareillage, et à 0 fr. 50 en tenant compte de cet amortissement.

Nous avions évalué la dépense à 0 fr. 22 dans le cas de l'éclairage par lampe à arc (nº 206).

210. Résumé. — Les résultats précédents sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Modes d'éclairage		Prix de revient moyen du carcel-heure.
Dynamo. —	Régulateurs à arc.	0 fr. 0045
Gaz	Becs à récupération.	0 020
	Becs Auer.	0 010

Ces chiffres accusent la supériorité incontestable de l'éclairage par lampes à arc sur celui que fournissent les brûleurs à gaz les plus perfectionnés.

Cette conclusion n'est pas infirmée, même si l'on fait entrer en ligne de compte les considérations relatives à l'éclairement des surfaces, dont il a été question au paragraphe précédent.

SEPTIÈME PARTIE

Exemples pratiques d'installations.

---

211. Exposé. — Nous allons développer, dans ce chapitre, les calculs de trois exemples d'installations de lumière électrique, comprenant à peu près tous les cas qui se présentent le plus habituellement dans de petits agencements. Ces exemples pourront par suite servir de guides pour la grande majorité des problèmes qui se posent dans les éclairages particuliers.

Dans le premier, nous étudierons l'éclairage d'un appartement situé dans une ville où il existe une canalisation de lumière électrique. L'installation particulière sera branchée sur les conducteurs généraux de l'usine centrale.

Dans le deuxième, nous admettrons qu'il s'agit d'éclairer un café avec jardin. Les salles de café sont munies de lampes à incandescence, et dans le jardin sont allumées des lampes à arc. Comme l'établissement n'utilise pas de travail mécanique dans la journée, la force motrice nécessaire pour l'éclairage est engendrée par un moteur à gaz fonctionnant seulement pendant la soirée, et uniquement pour le service des dynamos.

Enfin, dans le troisième cas, nous examinerons un exemple d'éclairage d'usine où il existe une machine à vapeur actionnant des transmissions mécaniques ordinaires,

Une dynamo, embrayée sur l'un des arbres généraux, alimente directement dans la soirée des lampes à arc et à incandescence pour l'éclairage des ateliers. Dans la journée, elle charge des accumulateurs destinés à l'allumage, à partir de la tombée de la nuit, de lampes à incandescence

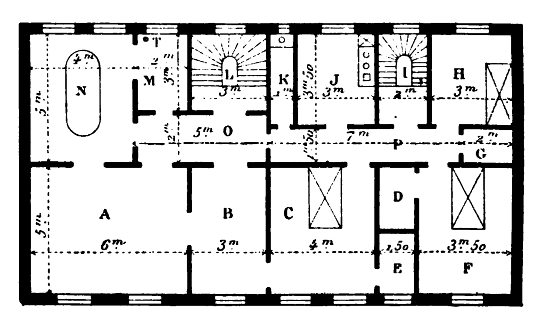


Fig. 49.

A Grand Salon. — B Petit Salon. — C Chambre n° 1. — D Cabinet de toilette n° 2. — E Cabinet de toilette n° 1. — F Chambre n° 2. — G Salle de bains. — H Chambre n° 3. — I Escalier de service. — J Cuisine. — K Water-Closets. — L Escalier. — M Office. — N Salle à manger. — O Antichambre. — P Couloir.

situées dans les bureaux et les appartements du directeur de l'usine.

212. Prix élémentaires. — Comme prix de revient élémentaires, nous admettrons que le kilowatt d'énergie électrique vendue par l'usine centrale coûte 1 fr. 50 par heure (prix maximum à Paris), que le cheval-vapeur pris sur les transmissions générales des ateliers de l'usine particulière revient à 0 fr. 20 par heure, y compris les frais de surveillance et de graissage, que le gaz est payé 0 fr. 30 par mètre cube, aussi bien pour l'éclairage que pour le service industriel du moteur, et enfin que celui-ci consomme 1000 litres de gaz à l'heure.

PREMIER EXEMPLE

Éclairage provenant d'une usine centrale.

213. Données. — L'appartement se compose, comme l'indique le plan (fig. 49), d'un grand salon de 30 mètres carrés, d'un petit salon de 15 mètres carrés, d'une salle à manger de 20 mètres carrés, de trois chambres à coucher de 20, 17 et 10 mètres carrés, de deux petits cabinets de toilette, deux escaliers, une cuisine, une salle de bains, un office, un cabinet d'aisance, une antichambre et un couloir. L'étage auquel est situé l'appartement a 3,50 mètres de hauteur.

D'après ce que nous avons vu au n° 130, il faut compter une bougie et demie par mètre carré, chiffre suffisant pour une hauteur d'étage de 3,50 mètres. Supposons que nous disposions de lampes de 20, 16, 10 et 8 bougies. Le nombre total de bougies et leur répartition par pièce sont données par le tableau suivant :

PIÈCE.	SURFACE en mètres carrés.	NOMBRE total de bougies	NOMBRE ET MODULES de lampes.
A grand salon. .	30^{m^2}	45	3 lampes de 16 boug.
B petit salon . .	15	22	1 — 20 —
C chambre. . .	20	30	2 — 16 —
D, E, G, K, petites pièces. . . .	3 à 4	6	1 — 8 —
F chambre. . .	17,50	25	2 — 10 —
H chambre. . .	10,50	16	1 — 16 —
I escalier. . .	7	10	1 — 10 —
J cuisine . . .	10,50	16	1 — 16 —
L escalier . . .	9	14	1 — 16 —
M office. . . .	6	9	1 — 8 —
N salle à manger.	20	30	2 — 16 —
O antichambre .	10	15	1 — 16 —
P couloir . . .	10,5	16	1 — 16 —

On pourrait forcer un peu l'éclairage des pièces de réception, salons et salle à manger ; il est superflu de faire remarquer que les calculs seraient identiques ; il suffirait de prendre comme base 2 bougies, par exemple, par mètre carré.

Dans un appartement, toutes les pièces ne sont pas éclairées aux mêmes instants. Il y a intérêt, au point de vue de la bonne utilisation des conducteurs et de la régularité de l'éclairage, à installer des circuits spéciaux comprenant chacun un certain nombre de lampes qui brûlent en même temps (n° 142).

Nous pourrons établir, par exemple, quatre circuits : le premier comprendra les deux escaliers, le petit salon, l'antichambre, le couloir, la cuisine et les lieux d'aisances. Ce circuit sera fermé en permanence. Le deuxième se composera des lampes des trois chambres à coucher avec leurs cabinets de toilette et la salle de bains ; le troisième comprendra la salle à manger et l'office, et le quatrième sera spécial au grand salon.

214. Dispositions générales. — Nous supposerons que le compteur et le tableau de distribution sont placés dans l'office, près de l'angle de la salle à manger, au point T, et que la différence de potentiel est de 110 volts, cette tension étant mesurée au voltmètre du tableau de distribution.

Du tableau de distribution (fig. 55) où sont établis un interrupteur et un coupe-circuit généraux bipolaires, partent les quatre circuits spéciaux, à l'origine de chacun desquels sont placés un interrupteur et un coupe-circuit. Chaque lampe est également munie d'un coupe-circuit et d'un interrupteur fixés au mur. Pour le lustre du salon, un interrupteur à clef et un petit coupe-circuit pour chaque lampe sont masqués dans les ornements du lustre ; de plus, un interrupteur et un coupe-circuit permettent d'allumer le lustre en une seule fois. Les deux lampes de la suspension

de la salle à manger sont allumées au moyen d'un seul interrupteur et protégés par un coupe-circuit unique.

Dans chaque chambre à coucher, un commutateur permet d'interposer dans le circuit d'une des lampes un rhéostat de manière à lui faire donner seulement la lumière d'une veilleuse, au moyen du dispositif que nous décrirons plus loin. Dans les grandes chambres à coucher, l'une des deux lampes est pendue au plafond vers le milieu de la pièce ; l'autre est placée en applique près de la tête du lit.

Le fil négatif est ininterrompu sur tout le parcours de la canalisation, sauf au passage de l'interrupteur bipolaire général. Tous les organes, commutateurs, rhéostats, coupe-circuit, etc., sont intercalés dans le fil positif.

Tous les fils, recouverts d'un isolant moyen, sont dissimulés sous des moulures clouées le long des murs et des plafonds.

215. Perte en ligne. — Nous fixons la perte de charge maxima dans la ligne à 2 pour 100, soit 2 volts. Cela nous conduit à adopter des lampes de 108 volts, puisque la différence de potentiel au tableau de distribution est de 110 volts.

216. Intensité des courants. — Les lampes de 20, 16, 10 et 8 bougies absorbent respectivement, à raison de 3,5 wats par bougie (nº 126), 70, 56, 35 et 28 wats. Comme elles sont tarées à 108 volts, les courants qui les traversent doivent avoir les intensités suivantes :

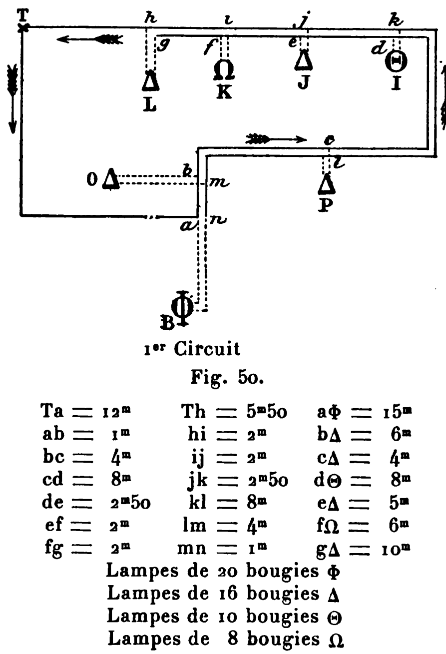
$\frac{70}{108} = 0,65$ ampère pour les lampes de 20 bougies.

$\frac{56}{108} = 0,52$ — 16 —

$\frac{35}{108} = 0,33$ — 10 —

$\frac{28}{108} = 0,26$ — 8 —

217. 1er circuit. — Le schéma du premier circuit est indiqué en détail sur la figure 50. L'emplacement des lampes étant bien déterminé, on choisit pour le circuit le chemin le plus court passant dans toutes les pièces munies des lampes qui font partie dudit circuit. Deux chemins indiqués sur la figure sont à peu près égaux, tout en circulant dans deux directions opposées : *T a b c d e f g* et *T h i j k l m n*. Il y aura donc avantage, comme nous l'avons vu (nos 140 et 141) à employer le circuit bouclé.



1er Circuit

Fig. 50.

Ta = 12^{m}	Th = $5^{m}50$	aΦ = 15^{m}
ab = 1^{m}	hi = 2^{m}	bΔ = 6^{m}
bc = 4^{m}	ij = 2^{m}	cΔ = 4^{m}
cd = 8^{m}	jk = $2^{m}50$	dΘ = 8^{m}
de = $2^{m}50$	kl = 8^{m}	eΔ = 5^{m}
ef = 2^{m}	lm = 4^{m}	fΩ = 6^{m}
fg = 2^{m}	mn = 1^{m}	gΔ = 10^{m}

Lampes de 20 bougies Φ
Lampes de 16 bougies Δ
Lampes de 10 bougies Θ
Lampes de 8 bougies Ω

218. Longueur des conducteurs. — Les différentes lampes sont reliées dans chaque pièce aux fils principaux du circuit par une dérivation dans laquelle sont intercalés

l'interrupteur et le coupe-circuit. Il faut naturellement comprendre dans la longueur des conducteurs celle du fil qui passe par l'interrupteur et le coupe-circuit de chaque lampe. Les chiffres de la légende de la figure 50 sont déterminés, en tenant compte de cette considération, d'après les cotes du plan ; nous avons admis dans la mesure des longueurs que les interrupteurs sont placés sur les murs le plus près possible des lampes, et à portée de la main.

219. Diamètres des fils. — Pour calculer le diamètre des fils conducteurs, il est nécessaire de connaître l'intensité du courant qui y circule. Le tableau suivant indique, pour chaque portion de conducteur, le nombre et les espèces de lampes qu'il alimente et l'intensité qui en résulte, à raison de 0,65 ampère pour les lampes de 20 bougies ; 0,52 ampère pour celles de 16 bougies ; 0,33 ampère pour celles de 10 bougies et 0,26 ampère pour celles de 8 bougies, comme nous l'avons vu plus haut.

CONDUCTEURS.	NOMBRE de lampes.	NOMBRE de bougies.	INTENSITÉ.
a Φ	1	20	0,65
b Δ, c Δ, e Δ, g Δ	1	16	0,52
d Θ	1	10	0,33
f Ω	1	8	0,26
f g	1	16	0,52
e f	1 1	16 8	0,78
d e	2 1	16 8	1,30
c d	2 1 1	16 10 8	1,63
b c	3 1 1	16 10 8	2,15
a b	4 1 1	16 10 8	2,67

CONDUCTEURS.	NOMBRE de lampes.	NOMBRE de bougies.	INTENSITÉ.
T a	1	20	3,32
	4	16	
	1	10	
	1	8	
m n	1	20	0,65
l m	1	20	1,17
	1	16	
k l	1	20	1,69
	2	16	
j k	1	20	2,02
	2	16	
	1	10	
i j	1	20	2,54
	3	16	
	1	10	
h i	1	20	2,80
	3	16	
	1	10	
	1	8	
T h	1	20	3,32
	4	16	
	1	10	
	1	8	

D'après ce que nous avons vu au nº 133, l'intensité maxima du courant qui peut passer dans les fils isolés et placés sous moulures est de 3 ampères par millimètre carré, lorsque l'intensité totale du courant est inférieure à 60 ampères, ce qui est le cas du présent exemple. En supposant que le diamètre des fils les plus fins dont nous nous servions soit de 1 millimètre, correspondant à une section de 0,79 millimètre carré (nº 312), c'est-à-dire à une intensité de 2,37 ampères, ce fil de 1 millimètre suffira pour toutes les parties du circuit, sauf pour *a b, T a, i j, h i, T h.* Pour ces dernières portions, un fil de 1,2 millimètre de diamètre,

ayant une section de 1,13 millimètre carré, sera suffisant.

220. Pertes de charge. — En admettant provisoirement ces diamètres, voyons s'ils conduisent à un chiffre supérieur ou inférieur à 2 volts pour la lampe du circuit qui correspond à la plus grande perte de charge, soit la lampe du milieu, puisque le circuit est bouclé (nº 140). Calculons, par exemple, la perte de charge subie par la lampe de l'escalier de service, alimentée par le circuit *T h i j k* 6 *d c b a T*.

La perte de charge occasionnée par une portion quelconque du circuit se calcule facilement à l'aide du nº 313. Ainsi, par exemple, la portion *i j* qui est traversée par un courant de 2,54 ampères et qui est formée par un fil de 1,2 millimètre de diamètre subit une perte de charge de

$$31,69 + 7,92 + 0,63 = 40,24 \text{ volts par kilomètre.}$$

Comme elle a une longueur de 2 mètres, la perte correspondant à cette partie du circuit est de 0,08 volt.

En évaluant de la sorte toutes les pertes de charge relatives aux différentes portions du circuit, on trouve que la perte de charge, pour la lampe du milieu considérée, est de 1,85 volt, c'est-à-dire inférieure à 2 volts. Les diamètres des fils choisis ne conduisant pas à une trop forte chute de potentiel pour cette lampe conviennent donc bien à la canalisation.

Les diamètres étant fixés, il faut calculer la perte de charge qui en résulte pour chaque lampe en particulier. Le tableau suivant, établi d'après les indications précédentes et celles du nº 138, fait ressortir les pertes de charge relatives à chaque portion du circuit et à chaque dérivation. Le simple examen de sa contexture fera comprendre son utilité. La dernière colonne, dans laquelle on totalise les pertes de charge afférentes aux différentes portions de circuit ou

branchement, indique la perte totale relative à chaque lampe.

LAMPES.	CONDUCTEURS.	INTENSITÉS en ampères	DIAMÈTRES en millimètres	PERTES de charge par kilom^re en volts.	LONGUEURS en mètres.	PERTES DE CHARGE EN VOLTS. PAR-TIELLES.	DEPUIS l'origine.
	1er fil de la boucle	a	mm	v	m	v	v
	T h	3,32	1,2	52,61	5,50	0,29	0,29
	h i	2,80	1,2	44,37	2	0,09	0,38
	i j	2,54	1,2	40,24	2	0,08	0,46
	j k	2,02	1	46,09	2,50	0,12	0,58
	k l	1,69	1	38,56	8	0,31	0,89
	l m	1,17	1	26,70	4	0,11	1,00
	m n	0,65	1	14,83	1	0,02	1,02
	2^e fil de la boucle.						
	T a	3,32	1,2	52,61	12	0,63	0,63
	a b	2,67	1,2	42,31	1	0,04	0,67
	b c	2,15	1	49,05	4	0,20	0,87
	c d	1,63	1	37,19	8	0,30	1,17
	d e	1,30	1	29,67	2,50	0,07	1,24
	e f	0,78	1	17,80	2	0,04	1,28
	f g	0,52	1	11,87	2	0,02	1,30
	branchements.						
Grand escalier . .	h Δ g	0,52	1	11,87	10	0,12	1,71
Latrines .	i Ω f	0,26	1	5,93	6	0,04	1,70
Cuisine. .	j Δ e	0,52	1	11,87	5	0,06	1,76
Escalier service. .	k Θ d	0,33	1	7,53	8	0.06	1,81
Couloir. .	l Δ c	0,52	1	11,87	4	0,05	1,81
Antichambre.	m Δ b	0,52	1	11,87	6	0,07	1,74
Petit salon. . . .	n Φ a	0,65	1	14,83	15	0,22	1,85

Les lampes sont tarées à 108 volts ; la perte de charge depuis la source jusqu'à leurs bornes devrait par suite être de 2 volts exactement. Les chiffres du tableau faisant ressortir un écart de moins d'un demi-volt entre la perte de charge effective et 2 volts, on peut se contenter de cette ap-

proximation, comme nous l'avons vu au no 128. Une différence d'un demi-volt sur cent est inappréciable à l'œil et n'a pas d'influence sensible sur la durée des lampes. Les diamètres indiqués au tableau ci-dessus conviennent donc

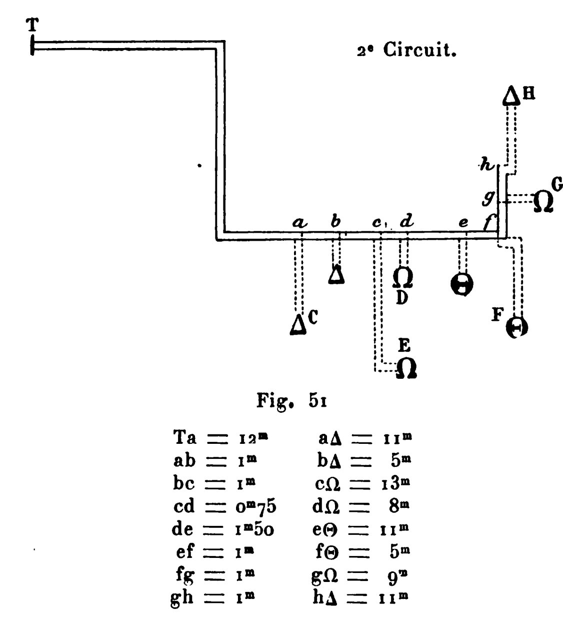


Fig. 51

Ta = 12^{m}	aΔ = 11^{m}
ab = 1^{m}	bΔ = 5^{m}
bc = 1^{m}	cΩ = 13^{m}
cd = $0^{m}75$	dΩ = 8^{m}
de = $1^{m}50$	eΘ = 11^{m}
ef = 1^{m}	fΘ = 5^{m}
fg = 1^{m}	gΩ = 9^{m}
gh = 1^{m}	hΔ = 11^{m}

bien pour les fils, et il n'y a pas lieu d'intercaler de résistances supplémentaires dans les circuits particuliers des lampes.

221. 2me circuit. — Pour le deuxième circuit, il y a avantage à employer le système des dérivations simples. Le circuit bouclé conduirait à une augmentation notable dans la longueur des conducteurs. Le schéma de la disposition adoptée est indiqué figure 51.

Nous avons choisi pour premier circuit le plus important,

et par suite celui qui conduit à la plus grande perte de charge pour les lampes ; nous sommes donc à peu près certains de pouvoir employer pour les autres circuits les conducteurs dont nous nous sommes servis dans le cas précédent, c'est-à-dire le fil de 1 millimètre de diamètre pour les conducteurs dans lesquels l'intensité est inférieure à 2,37 ampères, et le fil de 1,2 millimètre pour ceux dans lesquels l'intensité n'atteint pas 3,39 ampères.

Le tableau suivant est calculé en adoptant ces diamètres ; les chiffres de la dernière colonne sont obtenus, pour les branchements, en ajoutant à la perte de charge de chaque branchement particulier le double de celle qui résulte du conducteur principal, pour tenir compte du fil de retour.

LAMPES.	CONDUCTEURS.	INTENSITÉS en ampères.	DIAMÈTRES en millimètres.	PERTES de charge par kilom^{re} en volts	LONGUEURS en mètres.	PERTES DE CHARGE EN VOLTS. PARTIELLES.	PERTES DE CHARGE EN VOLTS. DEPUIS l'origine
	fils principaux						
	T a	3^{a}	$1,^{mm}2$	$45,^{v}74$	12^{m}	$0,^{v}57$	$0,^{v}57$
	a b	2,48	1,2	39,30	1	0,04	0,61
	b c	1,96	1	44,72	1	0,04	0,65
	c d	1,70	1	38,79	0,75	0,03	0,68
	d e	1,44	1	32,86	1,50	0,05	0,73
	e f	1,11	1	25,33	1	0,03	0,76
	f g	0,78	1	17,80	1	0,02	0,78
	g h	0,52	1	11,87	1	0,01	0,79
	branchements.						
Chamb. n° 1	a Δ	0,52	1	11,87	11	0,13	1,27
	b Δ	0,52	1	11,87	5	0,06	1,28
Cabinet de toilette n° 1	c Ω	0,26	1	5,93	13	0,07	1,37
Cabinet de toilette n° 2	d Ω	0,26	1	5,93	8	0,05	1,41
Chamb. n° 2	e Θ	0,33	1	7,53	11	0,08	1,54
	f Θ	0,33	1	7,53	5	0,04	1,56
Salle de bains. . .	g Ω	0,26	1	5,93	9	0,05	1,61
Chamb. n° 3	h Δ	0,52	1	11,87	11	0,13	1,71

Les pertes de charge varient de 1,27 volt, à 1,71 volt ; la différence de potentiel aux bornes des lampes variera par suite de 108,73 à 108,29 volts. Bien qu'elles soient tarées à 108 volts, elles pourront supporter cette petite différence sans inconvénient. Les diamètres indiqués conviennent donc bien pour les fils, et il n'y a pas lieu, pour les lampes de ce circuit, d'intercaler de résistances de réglage dans la canalisation.

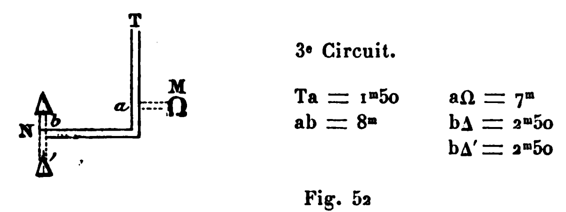


Fig. 52

222. 3me circuit. — Le 3me circuit est représenté schématiquement sur la figure 52, qui indique la disposition la plus simple à adopter. Le tableau suivant résume les longueurs des fils, les intensités et les pertes de charge relatives à chaque lampe. Il est établi de la même manière que les précédents.

LAMPES.	CONDUCTEURS.	INTENSITÉS en ampères.	DIAMÈTRES en millimètres.	PERTES de charge par kilomre en volts	LONGUEUR en mètres.	PERTES DE CHARGE EN VOLTS. PARTIELLES	DEPUIS l'origine
	fils principaux.						
	T a	1,a30	1mm	29,v67	1,m50	0,v04	0,v04
	a b	1,04	1	23,73	8	0,19	0,23
	branchements.						
Office. . . .	a Ω	0,26	1	5,93	7	0,04	0,12
Salle à manger. . . .	b Δ	0,52	1	11,87	2,50	0,03	0,49
	b Δ'	0,52	1	11,87	2,50	0,03	0,49

Les pertes de charge variant de 0,12 volt à 0,49 volt, la différence de potentiel aux bornes des lampes variera de 109,88 volts à 109,51 volts. Cette tension est un peu trop élevée pour des lampes de 108 volts, et il est bon d'intercaler dans leur circuit une résistance complémentaire, comme nous l'avons indiqué au nº 137. Afin de n'employer qu'une seule résistance pour les trois lampes, nous la placerons sur le fil principal T *a*. Un fil de ferro-nickel de 1 millimètre de diamètre, suffisant pour un courant de 1,30 ampère (nº 314) a une résistance de 1,015 ohm par mètre à la température moyenne qu'il ne dépassera pas en service courant. Un courant de 1,30 ampère y subit une perte de charge de 1,32 volt par mètre. La substitution d'un mètre de ce ferro-nickel à un mètre de fil de cuivre de 1 millimètre de diamètre produira par suite un abaissement de potentiel de

$$1,32 - 0,03 = 1,29 \text{ volt,}$$

dans la portion T *a* du conducteur principal.

Comme nous voulons ramener à 108 volts la tension la plus faible, qui est actuellement de 109,51 volts, il faudra faire subir au courant une perte de charge de 1,51 volt, c'est-à-dire employer un morceau de ferro-nickel ayant

$$\frac{1,51}{1,29} = 1,20 \text{ mètres environ}$$

de longueur et 1 millimètre de diamètre.

Cette résistance intercalaire réduira à 108 volts la différence de potentiel aux bornes des lampes de la salle à manger ; la lampe de l'office fonctionnera à 108,37 volts, ce qui est parfaitement admissible.

223. 4me circuit. — Le 4me circuit se compose d'un seul conducteur double amenant le courant au lustre du salon à trois lampes, comme l'indique la figure schématique

nº 53. Le tableau ci-dessous, calculé comme les précédents, indique la perte de charge aux becs du lustre.

LAMPES.	CONDUCTEURS.	INTENSITÉS en ampères.	DIAMÈTRES en millimètres.	PERTES de charge par kilom. en volts	LONGUEURS en mètres.	PERTES DE CHARGE EN VOLTS. PAR-TIELLES	DEPUIS l'origine
	fil principal. T a	a 1,56	mm 1	v 35,60	m 11	v 0,39	
Grand salon. .	branche-ments. aΔ=aΔ′=aΔ″	0,52	1	11,87	2	0,02	0,v80

La différence de potentiel aux bornes des lampes serait, d'après le tableau, de 109,20 volts. Pour la ramener à 108 volts, il est bon d'intercaler dans le fil T *a* une résistance de réglage calculée comme ci-dessus. Un fil de ferro-nickel, traversé par un courant de 1,56 ampère, produit une perte de charge de 1,58 volts, sa résistance étant de 1,015 ohm par mètre. Sa substitution à un fil de cuivre de 1 millimètre de diamètre provoque un supplément de perte de charge de

$$1{,}58 - 0{,}03 = 1{,}55 \text{ volt.}$$

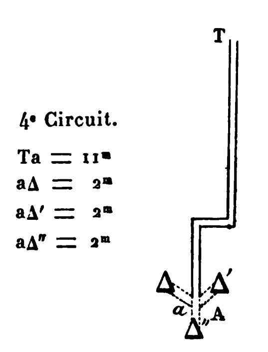


Fig. 53.

Pour abaisser le voltage des lampes de 1,20 volt, il faudra substituer le ferro-nickel au cuivre sur une longueur de 78 centimètres. Dans ces conditions, la différence de potentiel aux bornes des lampes sera exactement de 108 volts.

224. Lampes veilleuses. — Dans les chambres à cou-

cher, on peut se proposer de faire baisser à volonté l'intensité lumineuse des lampes au point de les réduire à l'état de simple veilleuse. Pour y arriver, il suffira de remplacer, sur l'un des fils de branchement qui conduisent aux lampes, l'interrupteur par un commutateur à deux directions et une touche nulle, permettant de faire passer à volonté le courant soit dans le fil direct, soit dans une résistance convenablement appropriée, comme l'indique la figure 54, soit encore de le supprimer lorsqu'on place la manette sur la touche nulle, en éteignant par suite la lampe dans cette position.

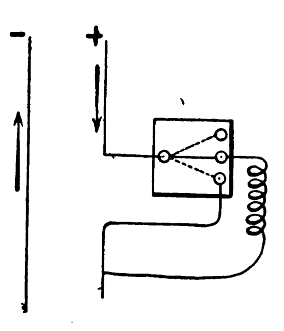


Fig. 54.

Le calcul de cette résistance est facile à établir. Nous avons vu au n° 128 que l'éclat d'une même lampe à incandescence est très variable suivant le courant qui la traverse. Pour réduire l'intensité lumineuse d'une lampe de 16 bougies et 108 volts à celle d'une simple veilleuse, il suffit de réduire la différence de potentiel aux bornes de la lampe à 70 volts. Il faut donc provoquer une chute de 38 volts. La résistance des lampes de 16 bougies que nous employons est donnée par la loi d'Ohm :

$$E = I\ R$$

Si l'on fait $E = 108$ et $I = 0{,}52$, on en déduit la résistance de la la lampe à chaud.

$$R = \frac{108}{0{,}52} = 208 \text{ ohms.}$$

Pour obtenir une différence de potentiel de 70 volts aux bornes de la lampe, l'intensité du courant devra être de

$$I = \frac{E}{R} = \frac{70}{208} = 0{,}33 \text{ ampère.}$$

Prenons comme rhéostat une spirale de fil de ferro-nickel ayant 0,5 millimètre de diamètre ; la résistance d'un mètre de ce fil, à la température ordinaire, est de 4,063 ohms (n° 314) ; ce fil traversé par un courant de 0,33 ampère, provoque une chute de potentiel de

$$4,063 \times 0,33 = 1,34 \text{ volt},$$

et pour obtenir une chute de 38 volts, il faut employer une spirale de

$$\frac{38}{1,34} = 28,40 \text{ mètres}.$$

Nous n'avons pas tenu compte dans le calcul de la différence de régime introduite dans la canalisation par le passage du courant de 0,33 ampère, qui est substitué au courant de 0,52 ampère, ni de l'extinction des autres lampes de la chambre et même de celles du circuit général. Ces changements, dont l'effet tend à diminuer la perte de charge dans les conducteurs (n° 142), et par suite à relever le voltage, conduisent à une augmentation insignifiante de 1 volt environ pour la différence de potentiel aux bornes des lampes veilleuses.

Ces petits rhéostats fixes, très faciles à installer, pourraient trouver dans la pratique beaucoup plus d'applications qu'ils n'en reçoivent.

225. Tableau de distribution. — Le tableau de distribution, le plus simple qu'on puisse imaginer, est dessiné figure 55.

Les coupe-circuit sont établis de manière à fondre à une intensité à peu près égale à une fois et demie celle du circuit qu'ils sont destinés à protéger. L'intensité totale du courant circulant dans l'appartement est égale à la somme des intensités des quatre circuits, soit 9,18 ampères. Les coupe-circuit devront donc fondre à 14 ampères pour le fil général d'amenée et respectivement à 5 ampères, 5 ampères,

2 ampères et 3 ampères pour les conducteurs principaux des 1er, 2e, 3e et 4e circuit.

Le fil général, jusqu'aux points de branchements, devant supporter un courant de 9,18 ampères, aura une section minima de 3,08 millimètres carrés à raison de 3 ampères

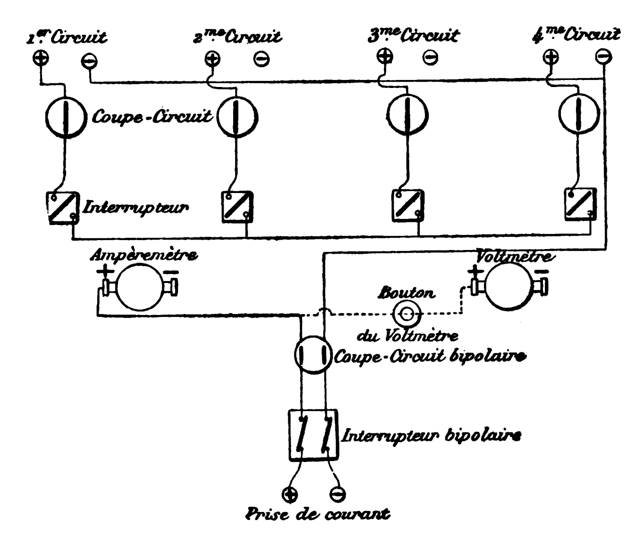


Fig. 55.

par millimètre carré, et par suite un diamètre de 2 millimètres.

226. Remarque. — Dans la fixation du nombre de bougies des différents types de lampes, nous avons suivi strictement la règle que nous nous étions imposée (une bougie et demie par mètre carré), et elle nous a conduit à employer quatre modules de lampes. Dans la pratique, ce serait beaucoup trop ; il y aurait certainement confusion entre les différents numéros lorsqu'il s'agirait de remplacer les lampes

cassées. Il est infiniment préférable de n'avoir que deux modèles : 16 et 10 bougies conviennent très bien en général. On remplace alors une lampe de 20 bougies par deux de 10, et chaque lampe de 8 bougies par une de 10, ce qui conduit à un supplément de dépense très faible. Si nous avons maintenu quatre modules de lampes, c'est uniquement pour montrer que les calculs restent très simples malgré cette complication apparente.

227. Devis. — Le devis approximatif d'une pareille installation est très facile à établir d'après les indications contenues dans les numéros 179 à 198. Il est détaillé au tableau ci-dessous.

DÉTAIL DES FOURNITURES, APPAREILS ET USTENSILES.	NOMBRE.	PRIX de l'unité.	DÉPENSE totale.
		fr.	fr.
Compteur (coulombs-mètre) de 50 ampères	1	180	180
Voltmètre.	1	60	60
Ampèremètre.	1	50	50
Interrupteur bipolaire de 10 ampères. .	1	15	15
Interrupteurs simples de 5 ampères. . .	4	2	8
Coupe-circuit bipolaire de 14 ampères. .	1	8	8
Coupe-circuit de 5 ampères (tableau de distribution)	4	1	4
Bornes de contact.	10	1	10
Tableau de distribution.	1	40	40
Lustres à 3 becs pour le grand salon. .	1	250	250
Lustre à 1 bec pour le petit salon . . .	1	80	80
Lampe des chambres à coucher	3	50	150
Appliques des chambres à coucher. . .	2	20	40
Lustre de la salle à manger	1	150	150
Lanternes du grand escalier et de l'antichambre.	2	20	40
Lampes ou appliques de la cuisine, cabinet de toillette, etc.	9	5	45
Douilles de lampes à incandescence . .	21	1	21
Lampes à incandescence.	21	1,10	23.10
Interrupteurs de 5 ampères.	19	2	38
Commutateurs à 2 directions et 1 touche nulle (chambres).	3	8	24
Résistances pour veilleuses	3	20	60
Coupe-circuit de 5 ampères.	17	1	17

DÉTAIL DES FOURNITURES, APPAREILS ET USTENSILES.	NOMBRE.	PRIX de l'unité.	DÉPENSE totale.
		fr.	fr.
Fil de 1,2 millimètre, isolement moyen (au kilomètre)	50^{m}	160	8
Fil de 1 millimètre (au kilomètre). . .	240^{m}	125	30
Fil de ferro-nickel id. . . .	2^{m}	40	0,08
Pose des fils. . . (au mètre)	292	0,20	58,40
Pose des lampes et accessoires			30
Somme à valoir pour travaux imprévus.			60,42
Total.			1 500 »

Les frais de l'installation complète de la canalisation, des lustres, des lampes, etc., s'élèvent par suite à 1500 fr. environ.

228. Prix de revient du carcel-heure. — Les 21 lampes produisent en tout une intensité lumineuse de 276 bougies soit environ 27,6 carcels.

Elles absorbent un courant total de 9,18 ampères, sous une différence de potentiel de 110 volts soit 1 010 watts. Le prix du kilowatt-heure étant de 1 fr. 50 (n° 212), l'allumage de toutes les lampes coûte

$$1{,}010 \times 1{,}50 = 1 \text{ fr. } 515, \text{ soit. } \quad . \quad . \quad . \quad 1{,}515$$

Il faut ajouter à ce prix, comme dans l'exemple du n° 203 :

1° L'intérêt et l'amortissement de l'installation, comptés à 10 pour 100 par an, soit 150 francs par an. En prenant pour base du calcul de l'amortissement un éclairage de 1 000 heures, pour tenir compte de ce que toutes les lampes ne sont pas allumées à la fois (au lieu de 1 820 heures, n° 200), cet élément grève le prix de l'heure de 0 fr. 15, soit. 0,15

2° Le remplacement des lampes. Les lampes brûlant pen-

dant 1 000 heures au minimum (n° 128), et leur prix d'achat étant de 23 fr. 10, il faut ajouter aux sommes précédentes. 0,023

Le prix total de revient des 27,6 carcels-heure composant l'ensemble de l'éclairage est donc de 1 fr. 688 et le carcel-heure coûte par suite

$$\frac{1,688}{27,6} = 0,061$$

Si l'on compare ce chiffre avec ceux qui ont été indiqués au n° 205 pour le prix de revient du carcel-heure d'éclairage au gaz, on en conclut que ce dernier mode d'éclairage est plus économique lorsque le kilowatt-heure coûte 1 fr 50.

DEUXIÈME EXEMPLE

Éclairage direct par dynamo.

229. Données. — Il s'agit d'éclairer, au moyen d'une dynamo attelée à un moteur à gaz, un café-restaurant avec jardin, disposé comme l'indique le plan (fig. 56). Au rez-de-chaussée, le bâtiment principal comprend une grande salle de café avec serre, une salle à manger, un bureau, une cuisine, un cellier, trois salons, un office, une lingerie, des lieux d'aisance, une antichambre et des couloirs de dégagement. Un bâtiment annexe contient une écurie, une remise, un bûcher et la salle des machines. Au premier étage se trouvent l'appartement privé du propriétaire du café et les chambres de domestiques.

Le jardin est éclairé par des foyers à arc C et D ; les bâtiments, par des lampes à incandescence.

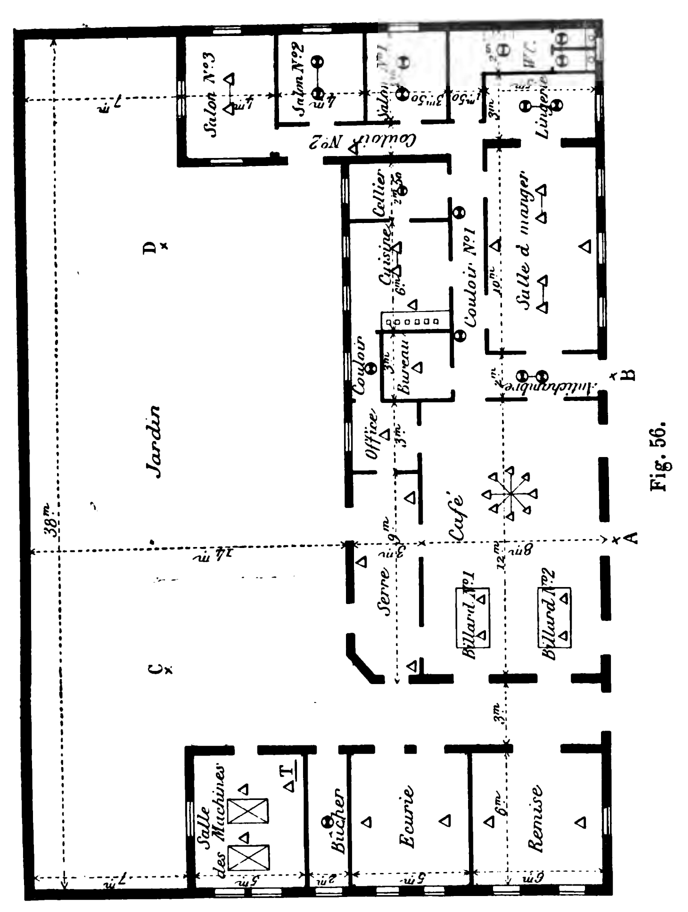


Fig. 56.

En plus des lampes strictement nécessaires à l'éclairage, on dispose devant la porte d'entrée charretière et devant la porte du milieu du café deux petits foyers à arc de 30 carcels, en A et B.

Les régulateurs de la façade sont toujours allumés en

même temps, ainsi que ceux du jardin ; mais les deux groupes doivent pouvoir être allumés séparément. Les lampes à incandescence sont allumées à des moments très variables ; on peut les classer en six groupes dans lesquels toutes les lampes fonctionnent à peu près en même temps : 1° Salle des machines. 2° Café, serre, cuisine, bureau, office, lieux d'aisances, couloirs et dégagements. 3° Salle à manger et lingerie. 4° Annexes. 5° Salons. 6° Appartements du 1er étage.

En ajoutant à ces six groupes les deux séries de lampes à arc, nous sommes amenés à installer 8 circuits distincts, qui sont représentés dans les figures 56 à 63.

230. Nombre et espèces de lampes. — Les indications du plan permettent de calculer la surface des pièces à éclairer. En nous reportant à ce que nous avons vu précédemment, nous pourrons évaluer le nombre et l'intensité lumineuse des lampes qu'il est utile d'employer pour obtenir un éclairage satisfaisant.

1° *Lampes à arc.* La surface du jardin est de 460 mètres carrés environ. La solution la plus économique consiste à employer deux régulateurs fixés sur des supports C D placés au quart et aux trois quarts de la longueur du jardin, à peu près à la moitié de la largeur, mais un peu plus près du mur de clôture que des salles, de manière à éclairer les petits rectangles qui se trouvent à droite et à gauche du fond de la cour. L'emploi simultané de deux régulateurs permet de les mettre en série. En adoptant aussi la disposition en série pour les deux régulateurs des portes d'entrée, on pourra se servir d'une dynamo de 110 volts (n° 163), qui présente au point de vue des pertes en ligne un avantage sérieux sur celles dont la force électromotrice est plus faible (n° 144). Chacun des deux grands régulateurs éclaire la moitié du jardin ; mais, par suite de leur position dans une

surface dissymétrique, leur puissance lumineuse doit être calculée, non pas pour la surface réelle dans laquelle ils se trouvent, mais d'après celle du carré circonscrit au polygone formé par le terrain, soit un carré de 19 mètres de côté ou 361 mètres carrés de surface. D'après ce que nous avons vu au nº 161, il faudra employer des régulateurs de 140 carcels environ, placés sur des colonnes de 10 mètres de hauteur.

2° *Lampes à incandescence.* Dans la salle de café et la salle à manger, un éclairage assez intense est indispensable ; ces pièces sont élevées, et les lustres qui supportent les lampes sont placés à une assez grande hauteur au-dessus des tables des consommateurs ; il faudra par suite augmenter un peu le nombre des lampes que nous avons indiqué au nº 130, et adopter au moins le chiffre de deux bougies par mètre carré. Dans les autres pièces, une bougie et demie par mètre carré produira un éclairage convenable ; dans la remise, l'écurie et le bûcher, une bougie par mètre carré suffira.

Le tableau suivant détaille le nombre de lampes qu'il est nécessaire d'employer dans chaque pièce : nous nous limitons aux modules de 16 et 10 bougies.

PIÈCES.	SURFACES en mètres carrés.	NOMBRE total de bougies.	NOMBRE ET MODULES de lampes.
Café	96 m²	192 bougies.	12 lampes de 16 boug.
Salle à manger . .	50	100	6 — 16 —
Serre.	27	40	3 — 16 —
Office.	9	14	1 — 16 —
Bureau	10,50	16	1 — 16 —
Cuisine.	27	40	3 — 16 —
Cellier	11,25	11	1 — 10 —
Lingerie.	15	22	2 — 10 —
Salon nº 1. . . .	14	21	2 — 10 —
Salon nº 2. . . .	16	24	2 — 10 —

PIÈCES.	SURFACES en mètres carrés.	NOMBRE total de bougies.	NOMBRE ET MODULES de lampes.
Salon n° 3	22	33 bougies	2 lampes de 16 boug.
Lieux d'aisances. .			3 — 10 —
Antichambre. . .	13	20	2 — 10 —
Couloir n° 1 . . .	17,25	25	2 — 10 —
Couloir n° 2 . . .	9	14	1 — 16 —
Couloir n° 3 . . .	3	5	1 — 10 —
Salle des machines.	30	45	3 — 16 —
Bûcher	12	10	1 — 10 —
Ecurie	30	30	2 — 16 —
Remise	36	36	2 — 16 —

soit en tout 36 lampes de 16 bougies et 16 lampes de 10 bougies.

Nous n'avons pas indiqué la disposition des appartements du premier étage ; le calcul de la canalisation serait absolument identique à celui que nous avons détaillé dans l'exemple précédent, et il est inutile de le recommencer. Nous admettrons que l'éclairage de ces locaux demande 20 lampes de 16 bougies et 4 lampes de 10 bougies.

231. Circuit de secours. — D'après les conditions que nous nous sommes posées, nous devons former 8 circuits indépendants, deux pour les lampes à arc, et six pour les lampes à incandescence ; on peut désirer avoir un neuvième circuit, dit de secours, pour le cas où le plomb du conducteur général de la canalisation viendrait à fondre brusquement pour une cause accidentelle. Tout l'établissement se trouverait alors instantanément plongé dans l'obscurité et y resterait jusqu'au moment où l'on aurait pu remplacer le fusible. Dans ce cas fortuit, le circuit de secours, qui alimente seulement une ou deux lampes dans les pièces principales, dans les corridors et dans la salle des machines, devient d'une grande utilité ; nous le comprendrons dans les prévisions du projet.

232. Intensités des lampes. — 1° *Lampes à arc.* Nous avons disposé les lampes à arc de manière à en réunir deux en série sur chaque circuit. La force électromotrice aux bornes de la dynamo est de 110 volts ; les lampes à arc de 30 carcels demandent 40 volts à leurs bornes, et celles de 140 carcels fonctionnent à 50 volts (n° 158) ; la différence entre le double de ces chiffres et 110 est absorbée par les rhéostats de réglage et la ligne.

L'intensité du courant qui alimente les régulateurs de 30 carcels est de 4,5 ampères (n° 159). Celle qui est nécessaire aux régulateurs de 140 carcels à raison de 5 watts par carcel (n° 157), soit 700 watts, est de 14 ampères pour une différence de potentiel de 50 volts aux bornes du régulateur.

2° *Lampes à incandescence.* La différence de potentiel aux bornes des lampes à incandescence dépend de la perte en ligne, et nous sommes libres de disposer de la valeur de cet élément. Nous avons vu au n° 144 que la perte de charge admissible dans ces intallations varie de 2 à 5 pour cent. Admettons le chiffre de 3 pour cent dans la ligne où la perte est la plus élevée. Les lampes devront alors être tarées à 107 volts.

Les lampes à incandescence absorbant 3,5 watts par bougie (n° 126), celles de 16 bougies demanderont 56 watts et celles de 10 bougies, 35 watts. La différence de potentiel étant de 107 volts, l'intensité du courant qui traverse chaque lampe est la suivante :

$$\text{Lampes de 16 bougies } \frac{56}{107} = 0{,}53 \text{ ampère.}$$

$$\text{Lampes de 10 bougies } \frac{53}{107} = 0{,}32 \text{ ampère.}$$

Le rez-de-chaussée comprend en tout 36 lampes de 16 bougies et 16 lampes de 10 bougies ; le 1er étage contient 20 lampes de 16 bougies et 4 lampes de 10 bougies ; l'in-

tensité nécessaire à l'alimentation des lampes à incandescence sera donc :

$$0,53 \times 36 + 0,33 \times 16 + 0,53 \times 20 + 0,33 \times 4 = 36,28 \text{ ampères.}$$

L'intensité nécessaire à l'alimentation des lampes à arc est, d'après ce que nous venons de voir, de $14 + 4,5 = 18,5$ ampères.

L'intensité totale du courant fourni par la dynamo sera donc

$$36,28 + 18,5 = 54,78 \text{ ampères.}$$

233. Choix et installation de la dynamo. — Les constantes de la dynamo seront par suite 110 volts et 55 ampères. Sa puissance est de

$$55 \times 110 = 6050 \text{ watts.}$$

Le travail dépensé par la machine est donné par la formule du nº 31 :

$$N = \frac{EI}{75\, g} = \frac{110 \times 55}{9,808 \times 75} = 8,23 \text{ chevaux-vapeur.}$$

Le rendement de l'appareil étant supposé égal à 80 pour 100 (nº 67), la puissance du moteur qui conduit la dynamo doit être de

$$\frac{8,23 \times 100}{80} = 10,4 \text{ chevaux.}$$

Bien entendu, pratiquement, il faut choisir sur les tarifs des constructeurs les appareils de types courants qui se rapprochent le plus des données de l'installation particulière que l'on a en vue. Supposons que nous arrêtions notre choix sur une dynamo de 110 volts et 60 ampères, et un moteur à gaz à deux cylindres de 12 chevaux.

Nous prendrons un dynamo compound, puisque nous

n'avons pas d'accumulateur à charger. Le compoundage pourra, dans une certaine mesure, remédier aux variations de vitesse du moteur à gaz.

Admettons que la dynamo tourne à une vitesse de 1 200 tours par minute et que sa poulie de commande ait un diamètre de 20 centimètres. D'après ce que nous avons vu au nº 60, la section de la courroie qui commande la dynamo sera égale à

$$q = \frac{300\ \mathrm{EI}}{n\ \mathrm{D}} = \frac{300 \times 110 \times 60}{1\ 200 \times 200} = 8{,}25 \text{ centimètres carrés.}$$

Si nous prenons une courroie de 6 millimètres d'épaisseur, sa largeur sera égale à

$$\frac{8{,}25}{0{,}6} = 14 \text{ centimètres.}$$

Supposons que le moteur à gaz tourne avec une vitesse de 100 tours par minute ; si la transmission de mouvement avait lieu directement du volant du moteur à la poulie de la dynamo, le diamètre de ce volant devrait être égal à 2,40 mètres ; de plus, comme le moteur doit être placé relativement près de la dynamo, l'arc embrassé par la courroie sur la poulie de la machine serait très faible. Cette disposition est mauvaise ; il est préférable d'employer une transmission intermédiaire placée au plafond de la salle, par exemple, de manière à partager la différence qui existe entre le nombre de tours des arbres du moteur et de la dynamo.

Comme nous l'avons vu au nº 62, le moteur, bien qu'à deux cylindres, devra être muni d'un volant assez puissant pour régulariser sa vitesse, et les courroies ne devront pas être trop tendues.

234. Conducteurs. — Les tableaux qui accompagnent les figures schématiques représentant la disposition des

différents circuits indiquent la longueur des conducteurs ; ils mentionnent également les longueurs des fils nus ou sous plomb. Nous emploierons les fils nus à l'extérieur des bâtiments, depuis la sortie de la salle des machines jusqu'aux lampes à arc des façades d'une part et jusqu'à l'entrée du bâtiment du café d'autre part. Le fil amenant le courant aux lampes à arc du jardin sera sous plomb dans toute la traversée de la cour. Les autres conducteurs seront formés par des fils isolés ordinaires ; ils ne portent aucune indication spéciale sur les figures ; nous indiquons ci-après les particularités relatives à chacun de ces circuits, et le calcul du diamètre des conducteurs qui le composent.

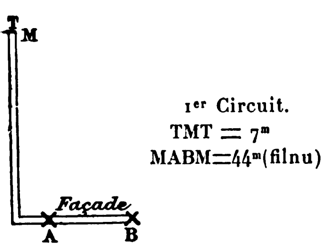


Fig. 57.

235. 1er circuit. — Le premier circuit est formé par les deux lampes à arc de 30 carcels des façades, disposées en série (fig. 57).

236. Diamètre des fils. — L'intensité du courant qui traverse le circuit est de 4,5 ampères. Nous nous servons à l'extérieur d'un fil de cuivre nu. L'intensité du courant peut y atteindre 6 ampères par millimètre carré (nº 133). Un fil ayant une section de 0,75 millimètre carré suffirait. Nous emploierons un fil de 1 millimètre de diamètre, ayant une section de 0,79 millimètre carré, depuis la sortie du mur de la salle des machines jusqu'aux lampes. Dans la salle des machines, le fil étant isolé, il ne peut y passer qu'un courant de 3 ampères par millimètre carré, ce qui correspond à une section de 1,50 millimètre carré, ou à un diamètre de 1,5 millimètre.

237. Rhéostat. — La différence de potentiel aux bornes du tableau de distribution, étant maintenue à 110 volts et les deux lampes absorbant 80 volts, les conducteurs et le rhéostat devront absorber 30 volts.

La perte de charge produite par le passage du courant dans les conducteurs, évaluée comme nous l'avons vu aux nos 220 et suivants, est égale à 4,84 volts, ainsi que le montre le tableau ci-dessous.

LAMPES.	CONDUCTEURS.	INTENSITÉS en ampères.	DIAMÈTRES en millimètres.	PERTES de charge par kilom. en volts	LONGUEURS en mètres.	PERTES DE CHARGE EN VOLTS.	
						PARTIELLES	DEPUIS l'origine
2 régulateurs de 30 carcels.	TMT MABM	4a5 4,5	1mm5 1	45v63 102,67	7m 44	0v32 4,52	4v84

Le rhéostat devra donc absorber 25,16 volts. L'intensité du courant étant de 4,5 ampères, il faudra employer pour le rhéostat un fil de ferro-nickel de 1,5 millimètre (no 315). Ce fil ayant à chaud une résistance de 472 volts par kilomètre correspond à une perte de charge de 2124 volts par kilomètre pour un courant de 4,5 ampères (E = IR). Pour absorber 25,16 volts, le fil devra avoir une longueur de

$$\frac{25,16}{2,124} = 11,90 \text{ mètres.}$$

Si le rhéostat est formé par une bobine dont les spires ont 20 centimètres de diamètre, soit 0,628 de développement (no 312), il comprendra 19 spires environ.

238. 2e circuit. — Le deuxième circuit alimente les deux régulateurs du jardin (fig. 58). Nous supposerons que les fils partant du tableau de distribution montent au plafond

de la salle des machines, contournent la corniche, traversent le mur, redescendent le long du bâtiment, pénètrent sous terre, remontent pour atteindre la première lampe placée à 10 mètres au-dessus du sol, redescendent et repassent sous terre pour aller rejoindre la deuxième lampe.

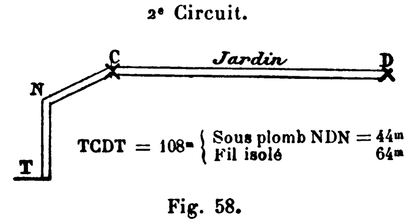


Fig. 58.

Dans le bâtiment, contre le mur et contre les colonnes, nous nous servons d'un fil à isolement fort ; sous terre, nous employons du fil sous plomb.

239. Diamètre des fils. — L'intensité du courant qui traverse le circuit est égale à 14 ampères. A raison de 3 ampères par millimètre carré (n° 133), il nous faut un fil de 4,67 millimètres carrés de section, ou de 2,5 millimètres de diamètre. La perte de charge dans un pareil fil, pour un courant de 14 ampères, atteint 51,11 volts par kilomètre (n° 313), soit 5,51 volts pour une longueur de 108 mètres.

240. Rhéostat. — Les régulateurs sont tarés à 50 volts ; les deux régulateurs en série exigent par suite 100 volts ; la différence de 10 volts entre cette différence de potentiel et celle qui existe aux bornes de la dynamo doit être absorbée par la ligne rhéostat. La ligne en dépense 5,51 ; il reste 4,49 volts pour le rhéostat.

Pour un courant de 14 ampères, le fil du rhéostat à l'air libre doit avoir un diamètre de 4 millimètres (n° 315). Ce fil, pour un courant ayant une intensité de 14 ampères, produit une perte de charge de 924 volts par kilomètre. Pour obtenir une perte de charge de 4,49 volts, il faut employer une longueur de fil de 4,80 mètres environ.

241. Circuits des lampes à incandescence. — Les figures 59 à 63 indiquent la disposition générale des circuits, pour lesquels nous adopterons la disposition en dérivation simple, qui conduit à la plus petite longueur de fil. Les longueurs des portions de conducteurs et des branchements sont indiquées dans les légendes qui accompagnent les dessins. Les chiffres portés sont égaux au double de la distance mesurée ; ils comprennent l'aller et le retour, y compris la longueur du fil qui passe par l'interrupteur, le cas échéant. Les fils passent à l'extérieur du bâtiment annexe, où ils sont en cuivre nu, jusqu'au moment où ils pénètrent dans le bâtiment principal. Ils sont alors recouverts d'un isolant moyen.

Il est inutile de prévoir, dans les lustres, un interrupteur pour chaque lampe ; nous emploierons seulement un interrupteur à chaque groupe de lampes ; les légendes qui accompagnent les figures indiquent par la lettre (I) les portions de conducteurs munis d'interrupteurs. — Au contraire, chaque lampe est protégée par un coupe-circuit indépendamment des coupe-circuit généraux.

Les tableaux suivants, calculés comme ceux des exemples précédents, indiquent l'intensité des courants qui circulent dans chaque portion de conducteur, le diamètre qu'il convient de donner aux fils, et la perte de charge qui en résulte pour les lampes. Nous admettons qu'il peut passer dans tous les fils un courant de 3 ampères par millimètre carré (nº 133).

242. 3e circuit. — Ce circuit comprend 3 lampes de 16

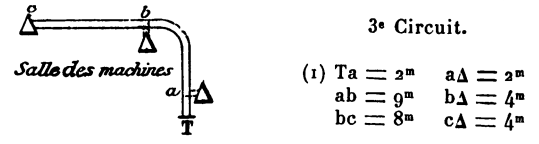


Fig. 59.

bougies placées dans la salle des machines (fig. 59).

LAMPES.	CONDUCTEURS.	INTENSITÉS en ampères.	DIAMÈTRES en millimètres.	PERTES de charge par kilom. en volts	LONGUEURS en mètres.	PERTES DE CHARGE EN VOLTS. PARTIELLES.	DEPUIS l'origine
		a	mm	v	m	v	
	T a	1,59	1	36,28	2	0,07	v
Tableau.	a Δ	0,53	1	12,09	2	0,02	0,09
	a b	1,06	1	24,19	9	0,20	0,29
Dynamo.	b Δ	0,53	1	12,09	4	0,05	0,34
	b c	0,53	1	12,09	8	0,10	0,44
Moteur .	c Δ	0,53	1	12,09	4	0,05	0,49

Les lampes sont tarées à 107 volts ; celle qui subit la plus forte perte de charge ne perd que 0,49 volt, tandis que la ligne devrait faire tomber le voltage de 3 volts, la dynamo étant réglée à 110 volts ; on doit donc absorber la différence, soit 2,51 volts, par une résistance de réglage (nº 137).

243. Résistance de réglage. — Pour une intensité de 1,59 ampère la résistance pourra être formée par un fil de ferro-nickel de 1 millimètre de diamètre (nº 314) ayant à la température ordinaire une résistance de 1015 ohms par kilomètre. 1 mètre de ce fil provoque par suite une perte de charge de 1,61 volt lorsqu'il est parcouru par le courant de 1,59 ampère, et il faudra une longueur de fil de 1 millimètre égale à

$$\frac{2,51}{1,61} = 1,60 \text{ mètre environ.}$$

Ce rhéostat sera placé sur le tableau de distribution, à l'origine du conducteur principal ; il ramènera le voltage de la lampe la plus éloignée à 107 volts. Les autres lampes fonctionneront avec une différence de potentiel supérieure à la précédente de 0,4 volt au plus. Cet écart est insignifiant ; il n'est pas utile de prendre de disposition spéciale pour égaliser le voltage d'une façon absolue.

244. 4e circuit. — Le quatrième circuit (fig. 60) comprend 21 lampes de 16 bougies, et 9 lampes de 10 bougies,

4e Circuit.

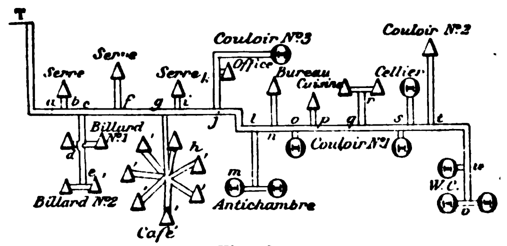


Fig. 60.

Ta = 22^m (fil nu)		Tb = 23^m	(1) bΔ = 6^m
bc = 6^m		(1) cd = 10^m	dΔ = dΔ′ = 6^m
(1) ce = 18^m	eΔ = eΔ′ = 6^m	cf = 3^m	(1) fΔ = 12^m
fg = 6^m		(1) gh = 18^m	hΔ = hΔ′ = 2^m
gi = 3^m	(1) iΔ = 6^m	ij = 3^m	
(1) jk = 9^m	{ kΔ = 5^m ; kΘ = 20^m	jl = 8^m	
(1) lm = 16^m	mΘ = 2^m	ln = 1^m	(1) nΔ = 13^m
no = 3^m	(1) oΘ = 12^m	op = 2^m	(1) pΔ = 15^m
pq = 5^m		(1) qr = 16^m	rΔ = rΔ′ = 2^m
qs = 8^m	{ (1) sΘ = 15^m ; (1) sΘ = 33^m	st = 3^m	(1) tΔ = 10^m
tu = 12^m	(1) uΘ = 15^m	uv = 10^m	(1) vΘ = vΘ′ = 2^m

éclairant la serre, le café, l'office, les couloirs, l'antichambre, la cuisine, le cellier et les lieux d'aisances. En attribuant aux fils le plus faible diamètre qu'ils peuvent avoir à raison de 3 ampères par millimètre carré, et en admettant qu'on n'utilise que des fils de diamètre croissant par demi-millimètre, à partir de 1 millimètre, on obtient les diamètres indiqués au tableau suivant, sauf pour les portions T *b*, *b c*, *c f*, *f g*, *g i*, *i j*, *j l*, où le diamètre de 2,5 millimètres, déterminé en ne tenant compte que de cette considération seule, est écrit entre parenthèses. En calculant les pertes de charge qui en résultent, et qui sont également inscrites

entre parenthèses en regard de ces sept lignes, on trouve que la perte de charge totale atteint 3,84 volts, au lieu de 3 volts. Afin de la réduire à cette dernière valeur, il suffit de porter le diamètre de ces sept portions de circuit à 3 millimètres. La plus grande perte de charge atteint alors 2,82 volts. Les pertes de charge relatives aux autres lampes sont indiquées au tableau.

245. Résistances de réglage. — Comme on le voit par ce tableau, la différence de potentiel aux bornes des dernières lampes ne sera que très peu supérieure à 107 volts ; mais, près des premières, elle resterait voisine de 110 volts ; cette différence de potentiel serait supérieure de plus de 2 volts à celle pour laquelle sont construites les lampes ; cet écart est trop considérable, et il est utile, comme dans le circuit précédent, d'avoir recours aux résistances de réglage dont nous avons parlé au nº 137.

Pour les lampes isolées, telles que celles de la serre, on remplacera une portion du fil conducteur par un fil de ferronikel calculé comme nous l'avons vu, de manière à absorber l'excédent de voltage. Pour les lampes disposées sur une même dérivation secondaire, une seule résistance pourra servir pour tous les foyers aboutissant à ce fil. — Les lampes, pour lesquelles sont intercalées les résistances, sont marquées d'une croix + au tableau précédent.

Prenons pour exemple les 8 lampes du lustre du café ; la perte de charge produite par les conducteurs seuls est égale à 2,07 volts ; la résistance doit par suite absorber la différence entre 2,07 et 3 volts, soit 0,93 volt. Si elle est placée sur la dérivation *g h*, elle devra livrer passage à un courant de 4,24 ampères ; d'après le nº 314, elle devra être constituée par un fil de ferro-nikel de 3 millimètres, ayant une résistance de 113 ohms par kilomètre et absorbant par suite 0,48 volt par mètre. Un mètre de ferro-nikel remplace un

LAMPES.	CONDUCTEURS.	INTENSITÉS en ampères.	DIAMÈTRES en millimètres.	PERTES de charge par kilomètre en volts.	LONGUEURS en mètres.	PERTES DE CHARGE EN VOLTS partielles.	PERTES DE CHARGE EN VOLTS depuis l'origine.
		a	mm	v v	m	v v	v
	Tb	14,10	3(2,5)	35,74(51,48)	23	0,82(1,19)	
Serre	bΔ	0.53	1	12,09	6	0,07	0,89 +
	bc	13,57	3(2,5)	34,41(49,55)	6	0,21(0,30)	1,03
	cd	1,06	1	. 24,19	10	0,24	1,27
Billard n° 1 . .	dΔ=dΔ′	0,53	1	12,09	6	0,07	1,34 +
	ce	1,06	1	24,19	18	0,44	1,71
Billard n° 2 . .	eΔ=eΔ′	0,53	1	12,09	6	0,07	1,78 +
	cf	11,45	3(2,5)	29,03(41,80)	3	0,08(0,13)	1,11
Serre	fΔ	0,53	1	12,09	12	0,14	1,25 +
	fg	10,92	3(2,5)	27,68(39,87)	6	0,17(0,24)	1,28
	gh	4,24	1,5	43,00	18	0,77	2,05
Café.	hΔ=...=hΔ[8]	0,53	1	12,09	2	0,02	2,07 +
	gi	6,68	3(2)	16,93(38,10)	3	0,05(0,11)	1,33
Serre	iΔ	0,53	1	12,09	6	0,07	1,40 +
	ij	6,15	3(2)	17,88(35,28)	3	0,05(0,11)	1,38
	jk	0,86	1	19,62	9	0,18	1,56
Office	kΔ	0,53	1	12,09	5	0,06	1,62 +
Couloir n° 3. .	kΘ	0,33	1	7,53	10	0,08	1,64 +
	jl	5,29	3(1,5)	13,42(53,65)	8	0,11(0,43)	1,49
	jm	0,66	1	15,06	16	0,24	1,73

LAMPES.	CONDUCTEURS.	INTENSITÉS en ampères.	DIAMÈTRES en millimètres.	PERTES de charge par kilomètre en volts.	LONGUEURS en mètres.	PERTES DE CHARGE EN VOLTS partielles.	PERTES DE CHARGE EN VOLTS depuis l'origine.
		a	mm	v	m	v	v
Antichambre. .	mΘ=mΘ'	0,33	1	7,53	2	0,02	1,75 +
	ln	4,63	1,5	46,95	1	0,05	1,54
Bureau. . . .	nΔ	0,53	1	12,09	13	0,16	1,70 +
	no	4,10	1,5	41,57	3	0,12	1,66
Couloir nº 1. .	oΘ	0,33	1	7,53	12	0,09	1,75 +
	op	3,77	1,5	38,23	2	0,08	1,74
Cuisine. . . .	pΔ	0,53	1	12,09	15	0,18	1,92 +
	pq	3,24	1,5	32,86	5	0,16	1,90
	qr	1,06	1	24,19	16	0,37	2,27
Cuisine. . . .	rΔ=rΔ'	0,53	1	12,09	2	0,02	2,29 +
	qs	2,18	1	48,09	8	0,38	2,28
Cellier. . . .	sΘ	0,33	1	7,53	15	0,11	2,39 +
Couloir nº 1. .	sΘ'	0,33	1	7,53	13	0,10	2,38 +
	st	1,52	1	34,69	3	0,10	2,38
Couloir nº 2. .	tΔ	0,53	1	12,09	20	0,24	2,62 +
	tu	0,99	1	22,59	12	0,27	2,65
Lieux d'aisances	uΘ	0,33	1	7,53	15	0,11	2,76 +
	uv	0,66	1	15,06	10	0,15	2,80
Lieux d'aisances	vΘ=vΘ'	0,33	1	7,53	2	0,02	2,82 +

mètre de fil de cuivre de 1,5 millimètre, qui produit une perte de charge de 0,04 volt par mètre dans les mêmes conditions de courant. La substitution amènera par suite une perte de 0,44 volt par mètre et pour obtenir une perte de 0,93 volt, il faudra remplacer le fil de cuivre de 1,5 millimètre par un fil de ferro-nikel de 3 millimètres sur une longueur de 2,10 mètres environ.

Le tableau de la page suivante, calculé de cette façon, donne les longueurs et les diamètres des résistances de réglage à employer pour chaque lampe ou groupe de lampes. (Pour l'office, nous avons admis comme perte de charge 1,63 volt, moyenne entre 1,62 et 1,64.)

246. 5e circuit. — Le cinquième circuit comprend 6 lampes de 16 bougies et 2 lampes de 10 bougies éclairant la salle à manger et la lingerie (fig. 61).

5e Circuit.

Fig. 61.

Ta (fil nu) = 32^m Tb = 72^m
(1) bc = 16^m cΔ = cΔ′ = 1^m bd = 2^m (1) dΔ = 7^m
(1) eΔ = 17^m ef = 2^m gΔ = gΔ′ = 1^m
(1) fg = 16^m (1) fh = 27^m hΘ = hΘ′ = 1^m

LAMPES.	FIL où est placée la résistance.	PERTES DE CHARGE depuis l'origine.	DIFFÉRENCES à 3 volts.	INTENSITÉS du courant.	DIAMÈTRES du ferro-nickel en millimètres.	RÉSISTANCES en ohms par kilomètre.	PERTES DE CHARGE PAR MÈTRE EN VOLTS			LONGUEURS du ferro-nickel en mètres.
							du ferro-nick.	du cuivre	résultant de la substitution.	
		v	v	a	mm	ohms	v	v	v	m
Serre	bΔ	0,89	2,11	0,53	1	1 015	0,54	0,01	0,53	4
Billard nº 1 . .	cd	1,34	1,66	1,06	1	1 015	1,08	0,02	1,06	1,60
Billard nº 2 . .	ce	1,78	1,22	1,06	1	1 015	1,08	0,02	1,06	1,15
Serre	fΔ	1,25	1,75	0,53	1	1 015	0,54	0,01	0,53	3,30
Café.	gh	2,05	0,95	4,24	3	113	0,48	0,04	0,44	2,20
Serre	iΔ	1,40	1,60	0,53	1	1 015	0,54	0,01	0,53	3
Office	jk	1,63	1,37	0.86	1	1 015	0,88	0,02	0,86	1,60
Antichambre. .	jm	1,75	1,25	0,66	1	1 015	0,67	0,01	0,66	1,90
Bureau. . . .	nΔ	1,70	1,30	0,53	1	1 015	0,54	0,01	0,53	2,50
Couloir nº 1. .	oθ	1,75	1,25	0,33	1	1 015	0,34	0,01	0,33	3,80
Cuisine . . .	pΔ	1,92	1,08	0,53	1	1 015	0,54	0,01	0,53	2
Cuisine . . .	qr	2,27	0,73	1,06	1	1 015	1,08	0,02	1,06	6,90
Cellier. . . .	sθ	2,39	0,61	0,33	1	1 015	0,34	0,01	0,33	1,85
Couloir nº 1. .	sθ	2,38	0,62	0,33	1	1 015	0,34	0,01	0,33	1,85
Couloir nº 2. .	tΔ	2,64	0,38	0,53	1	1 015	0,54	0,01	0,53	0,70
Lieux d'aisances	uθ	2,76	0,34	0,33	1	1 015	0,34	0,01	0,33	1
Lieux d'aisances	uv	2,82	0,18	0,66	1	1 015	0,67	0,02	0,65	0,30

Le tableau suivant indique les diamètres des fils et les pertes de charge correspondant à chaque lampe du circuit.

LAMPES	CONDUCTEURS.	INTENSITÉS en ampères.	DIAMÈTRES en millimètres.	PERTES de charge par kilom. en volts	LONGUEURS en mètres.	PERTES DE CHARGE EN VOLTS partielles.	depuis l'origine
		a	mm	v	m	v	
	Tb	3,84	1,5	38,94	72	2,80	
	bc	1,06	1	24,19	16	0,39	v
Salle à	cΔ = cΔ'	0,53	1	12,09	1	0,01	3,20
manger.	bd	2,78	1,5	28,29	2	0,06	2,86
Salle à	dΔ	0,53	1	12,09	7	0,08	2,94
manger.	eΔ	0,53	1	12,09	17	0,21	3,07
	ef	1,72	1	39,25	2	0,08	2,94
	fg	1,06	1	24,19	16	0,39	3,33
Salle à	gΔ = gΔ	0,53	1	12,09	1	0,01	3,34
manger.	fh	0,66	1	15,09	27	0,41	3,35
Lingerie.	hΘ = hΘ'	0,33	1	7,53	1	0,01	3,36

La différence entre la plus petite perte de charge et 3 volts étant égale à moins d'un demi-volt, il n'y a pas lieu de s'en préoccuper.

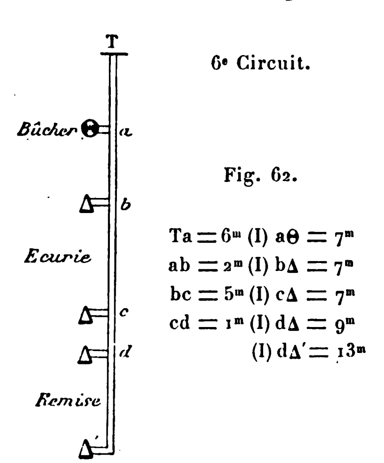


Fig. 62.

247. 6me circuit. — Le sixième circuit se compose de 4 lampes de 16 bougies et de 1 lampe de 10 bougies éclairant les annexes (fig. 62).

Le tableau ci-dessous fournit les renseignements relatifs à son installation.

LAMPES.	CONDUCTEURS	INTENSITÉS en ampères.	DIAMÈTRES en millimètres.	PERTES de charge par kilom. en volts	LONGUEURS en mètres.	PERTES DE CHARGE EN VOLTS. partielles.	depuis l'origine.
		a	mm	v	m	v	
	Ta	2,45	1,5	24,85	6	0,15	v
Bûcher. .	aθ	0,33	1	7,53	2	0,02	0,17 +
	ab	2,12	1	48,37	2	0,10	0,25
Ecurie . .	bΔ	0,53	1	12,09	7	0,08	0,33 +
	bc	1,59	1	36,28	5	0,18	0,33
Ecurie . .	cΔ	0,53	1	12,09	7	0,08	0,41 +
	cd	1,06	1	24,19	1	0,02	0,35
Remise. .	dΔ'	0,53	1	12,09	9	0,11	0,46 +
	dΔ	0,53	1	12,09	13	0,16	0,51 +

248. Résistance de réglage. — La différence entre les pertes de charge subies dans la canalisation sont comprises entre 0,17 volt et 0,51 volt ; elles diffèrent notablement de 3 volts : il est par suite utile d'employer une résistance de réglage ; mais comme l'écart entre la plus petite et la plus grande perte de charge est inférieure à un demi-volt, une seule résistance déterminée pour la perte de charge moyenne égalisera le voltage d'une façon suffisante, à condition de la placer à l'origine de la conduite générale. Elle devra absorber

$$3 - \frac{0,17 + 0,51}{2} = 2,66 \text{ volts.}$$

Comme elle est traversée par un courant de 2,45 ampères, le fil dont elle est formée devra avoir 2 millimètres de diamètre, correspondant à une perte de charge de

$$E = IR = 2,45 \times 0,254 = 0,62 \text{ volt par mètre.}$$

La substitution de 1 mètre de ce ferro-nickel à 1 mètre du conducteur provoquera une perte de charge de 0,62 — 0,02 = 0,60 volt. La longueur du fil de cette résistance devra par suite être de

$$\frac{2,66}{0,60} = 4,40 \text{ mètres environ.}$$

249. 7me circuit. — Le septième circuit se compose de 2 lampes de 16 bougies et 4 lampes de 10 bougies qui alimentent les salons (fig. 63).

7e Circuit.

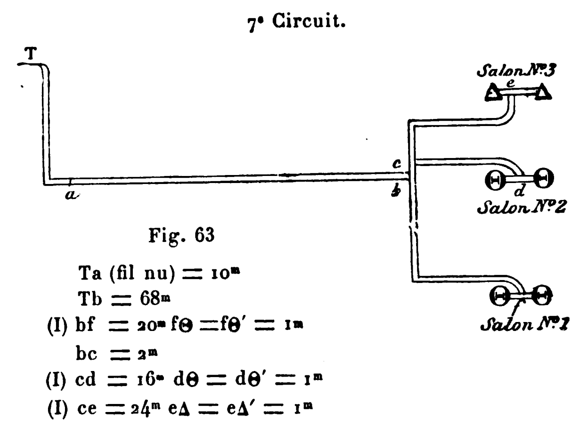


Fig. 63

Ta (fil nu) = 10m
Tb = 68m
(I) bf = 20m fΘ = fΘ′ = 1m
bc = 2m
(I) cd = 16m dΘ = dΘ′ = 1m
(I) ce = 24m eΔ = eΔ′ = 1m

Le tableau suivant indique le diamètre des fils et les pertes de charges relatives à chaque lampe.

LAMPES.	CONDUCTEURS.	INTENSITÉS en ampères.	DIAMÈTRES en millimètres.	PERTES de charge par kilom. en volts	LONGUEURS en mètres.	PERTES DE CHARGE EN VOLTS	
						partielles.	depuis l'origine
		a	mm	v	m	v	
	T b	2,38	1,5	24,13	68	1,64	
	b f	0,66	1	15,06	20	0,30	
Salon no 1.	fΘ=fΘ′	0,33	1	7,53	1	0,01	1,95 +
	b c	1,72	1	39,25	2	0,08	1,72
	c d	0,66	1	15,06	16	0,24	1,96
Salon no 2.	dΘ=dΘ′	0,33	1	7,53	1	0,01	1,97 +
	c e	1,06	1	24,19	24	0,58	2,30
Salon no 3.	eΔ=eΔ′	0,53	1	12,09	1	0,01	2,31 +

250. Résistance de réglage. — Comme pour le circuit précédent, la différence entre les pertes de charge et 3 volts

étant sensible, il est bon d'employer des résistances de réglage ; mais l'écart entre les pertes extrêmes étant inférieur à un demi-volt, il suffira d'adapter un seul rhéostat sur le fil général de manière à faire tomber à 3 volts la moyenne des pertes de charge extrêmes, qui serait de 2,13 volts sans résistance supplémentaire ; la résistance devra par suite absorber 0,87 volt. Pour un courant de 2,38 ampères, elle sera construite avec un fil de ferro-nikel de 2 millimètres de diamètre, de 254 ohms de résistance kilométrique (nº 314), et produisant une perte de charge de 0,60 volt par mètre. La longueur du fil à employer sera par suite de 1,45 mètre environ.

251. 8me circuit. — Le huitième circuit se compose de 20 lampes de 16 bougies et de 4 lampes de 10 bougies éclairant les appartements.

Le plan n'indique pas la disposition de cet appartement, car l'installation de l'éclairage n'y présente aucune particularité autre que celles qui ont été signalées dans le premier exemple (nos 213 à 226). L'intensité totale du courant qui parcourt ce circuit est égal à

$$0,53 \times 20 + 0,33 \times 4 = 11,92 \text{ ampères ;}$$

les fils de départ devront par suite avoir un diamètre de 2,5 millimètres.

Pour pouvoir comprendre l'installation de ce circuit dans le devis, nous admettrons qu'il comporte les éléments suivants, en dehors des 24 lampes à incandescence et de leurs douilles :

30 mètres fil de cuivre de 2,5 millimètres.
10 — 2 —
30 — 1,5 —
250 — 1 —
10 mètres de fil de ferro-nickel de 1 millimètre.
20 interrupteurs de 0 à 5 ampères.

24 coupe-circuit.
3 commutateurs à 2 directions et 1 touche nulle.
3 résistances pour veilleuses.
3 lustres d'une valeur moyenne de 80 francs.
15 lampes, appliques, etc., d'une valeur moyenne de 10 francs.

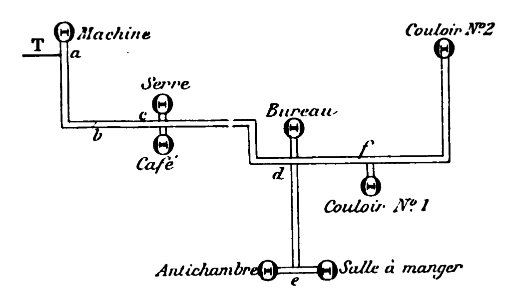


Fig. 64.

Ta = 1ᵐ	(1) aΘ = 1ᵐ		
ac = 34ᵐ	(1) cΘ = 7ᵐ	[ab, fil nu = 16ᵐ]	
	(1) cΘ = 7ᵐ		
cd = 17ᵐ	(1) dΘ = 7ᵐ		
de = 8ᵐ	(1) eΘ = 7ᵐ		
	(1) eΘ' = 7ᵐ		
df = 10ᵐ	(1) fΘ = 7ᵐ		
	(1) fΘ' = 24ᵐ		

252. 9me circuit. — Le neuvième circuit est le circuit de secours (n° 231). Ses conducteurs sont branchés sur les conducteurs principaux de la dynamo, avant le coupe-circuit général de la canalisation, et un coupe-circuit spécial lui est réservé. Il se compose du nombre minimum de lampes qu'il est nécessaire d'installer pour éviter une panique en cas d'extinction absolue de toutes les autres lampes de la canalisation ; l'interrupteur qui le commande est placé au tableau de distribution sous la main du mécanicien et il est bon de la disposer de telle sorte qu'il ne

puisse être manœuvré que par une clef spéciale. Nous avons admis que 8 lampes de 10 bougies étaient suffisantes (fig. 64).

Le tableau ci-dessous indique les conditions d'installation de ce circuit.

LAMPES.	CONDUCTEURS.	INTENSITÉS en ampères.	DIAMÈTRES en millimètres.	PERTES de charge par kilom. en volts	LONGUEURS en mètres.	PERTES DE CHARGE EN VOLTS partielles.	PERTES DE CHARGE EN VOLTS depuis l'origine.
		a	mm	v	m	v	v
	T a	2,64	1,5	26,78	1	0,03	
Machines .	a θ	0,33	1	7,53	1	0,01	0,04 +
	a c	2,31	1	52,71	34	1,79	1,82
Serre. . .	c θ	0,33	1	7,53	7	0,05	1,87 +
Café. . .	c θ′	0,33	1	7,53	7	0,05	1,87 +
	c d	1,65	1	37,65	17	0,64	2,46
Bureau. .	d θ	0,33	1	7,53	7	0,05	2,51 +
	d e	0,66	1	15,06	8	0,12	2,58
Antichambre. . .	e θ	0,33	1	7,53	7	0,05	2,63 +
Salle à manger.	e θ′	0,33	1	7,53	7	0,05	2,63 +
	d f	0,66	1	15,06	10	0,15	2,61
Couloir n° 1	f θ	0,33	1	7,53	7	0,05	2,66 +
Couloir n° 2	f θ′	0,33	1	7,53	24	0,18	2,79 +

253. Résistances de réglage. — Ce circuit ne devant être utilisé que fort rarement, il n'est pas absolument nécessaire de régulariser le voltage aux bornes des lampes. Toutefois c'est une précaution tellement facile à prendre que nous détaillons dans le tableau de la page suivante les calculs relatifs aux résistances de réglage destinées, comme celles des numéros précédents, à égaliser la perte de charge due aux différents tronçons de la ligne. Toutes les lampes en aval du bureau n'ont pas besoin de résistances de réglage, leur différence à 107 volts étant inférieure à un demi-volt.

254. Diamètre des conducteurs principaux de la dy-

namo. — Les conducteurs principaux partant de la dynamo pour se rendre au tableau de distribution doivent livrer passage à un courant maximum de 60 ampères. Leur section, à raison de 3 ampères par millimètre carré, doit par suite avoir 20 millimètres carrés, correspondant à un fil de 4,4 millimètres de diamètre. Il est préférable d'employer un câble de cuivre tressé. Un câble de 19 torons de 1,2 millimètre, ayant une section de 21,47 millimètres carrés (nº 316), remplira le but proposé.

LAMPES.	FIL OU EST LA RÉSISTANCE	PERTES DE CHARGE depuis l'origine.	DIFFÉRENCES à 3 volts.	INTENSITÉS du courant.	DIAMÈTRES du ferro-nickel en millimètres.	RÉSISTANCES EN OHMS par kilomètre.	PERTES DE CHARGE PAR MÈTRE EN VOLTS du ferro-nickel	du cuivre.	résultant de la substitution.	LONGUEURS du ferro-nickel en m.
		v	v	a	mm	ohms	v	v	v	m
Machines	aθ	0,04	2,96	0,33	0,5	4 063	1,34	0,01	1,33	2,20
Serre . .	cθ	1,87	1,13	0,33	0,5	4 063	1,34	0,01	1,33	0,85
Café . .	cθ'	1,87	1,13	0,33	0,5	4 063	1,34	0,01	1,33	0,85

255. Tableau de distribution. — Le tableau de distribution, comme le montre la figure 65, met à la portée du mécanicien les interrupteurs des différents circuits ; un interrupteur et un coupe-circuit bipolaires sont placés sur le passage des conducteurs principaux. A gauche du tableau est situé le rhéostat d'excitation du shunt de la dynamo (nº 63). Un ampèremètre et un voltmètre permettent le réglage du régime du réseau. L'ampèremètre, comme nous l'avons vu (nº 68), est intercalé dans le circuit. Le voltmètre, au contraire, est mis en communication avec les conducteurs par une dérivation spéciale, coupée par un

bouton sur lequel on appuie seulement au moment de faire une lecture.

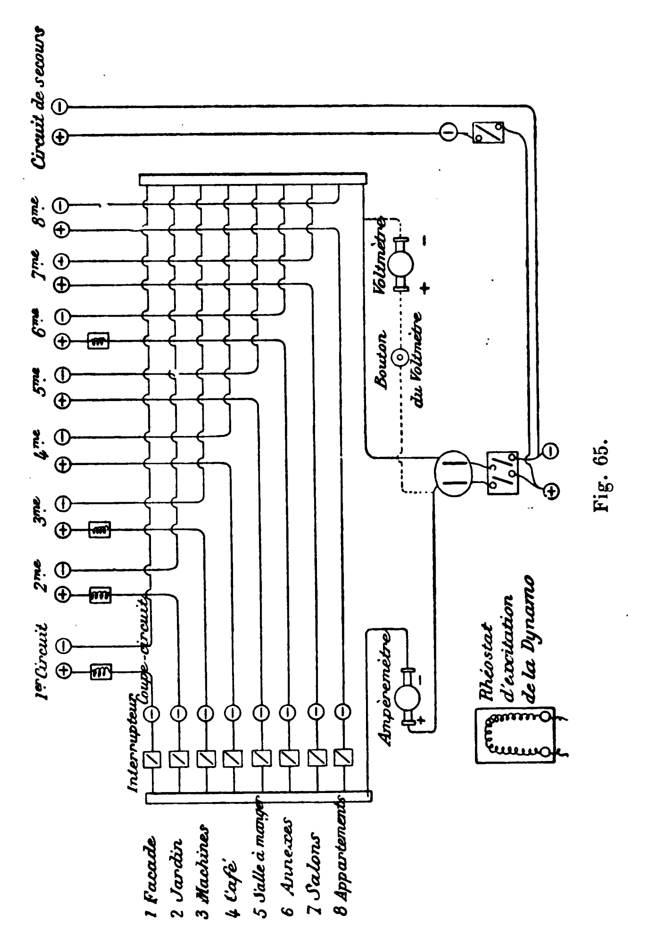


Fig. 65.

256. Devis de l'installation. — Nous diviserons l'évaluation du prix d'établissement de l'installation en trois

parties correspondant, l'une à la source d'électricité, les autres à l'éclairage à arc et à l'éclairage à incandescence, de façon à nous permettre de nous rendre compte séparément du prix de revient des deux espèces de lumière.

257. Source d'électricité.— L'installation de la source d'électricité comprend le prix du moteur à gaz de 12 chevaux, des transmissions et de la dynamo de 6 600 watts.

DÉTAIL DES FOURNITURES, appareils et ustensiles.	NOMBRE	PRIX de l'unité.	DÉPENSE totale.
Moteur à gaz de 12 chevaux . . .	1	9 000 f.	9 000 f.
Transmissions.			800
Dynamo avec son cadre à rainures.	1	1 600	1 600
Mise en place des machines . . .			200
Total.			11 600

258. Installation commune aux deux éclairages. — Toute la partie de l'installation depuis la dynamo jusqu'au tableau de distribution est commune aux deux éclairages à arc et à incandescence. Elle peut être évaluée de la façon suivante :

Câble de la machine de 19 torons de 1,2 millimètre (mètres). . .	20	3f,09	62f,70
Interrupteur bipolaire de 60 ampères	1	50	50
Coupe-circuit bipolaire de 60 ampères.	1	20	20
Rhéostat d'excitation de la dynamo.	1	60	60
Ampèremètre de 60 ampères. . .	1	100	100
Voltmètre de 120 volts.	1	60	60
Bornes.	20	1	20
Fil, barres conductrices du tableau de distribution.			10
Tableau de distribution.			100
Divers.			17,30
Total.			500

259. Eclairage à arc. — Le détail du prix de revient de l'installation des régulateurs peut être évalué approximativement de la façon suivante :

DÉTAIL DES FOURNITURES, appareils et ustensiles.	NOMBRE	PRIX de l'unité.	DÉPENSE totale.
Interrupteur simple de 15 ampères.	2	8 f.	16 f.
Rhéostats.	2	20	40
Régulateur de 30 carcels	2	100	260
Régulateurs de 140 carcels. . . .	2	130	200
Colonnes de 10 mètres de hauteur.	2	250	500
Coupe-circuit simple de 5 ampères	1	1	1
— — 20 —	1	4	4
Fil de 2,5 millimètres sous plomb (le kilomètre).	45m	800	36
Pose de ce fil enterré (le mètre). .	45	0,50	22,50
Fil de 2,5 millimètres recouvert, isolement fort (le kilomètre). .	65	650	42,25
Fil de 1,5 millimètre recouvert, isolement moyen (le kilomètre).	10	200	2
Fil nu de 1 millimètre (le kilogramme)	0,350	3	1,05
Isolateurs.	10	1,50	15
Pose des fils (le mètre).	120	0,25	30
Pose des lampes et accessoires. .			50
Somme à valoir pour travaux imprévus.			80,20
Total.			1 300 »

260. Eclairage à incandescence. — Le détail de l'éclairage à incandescence peut être estimé comme suit :

DÉTAIL DES FOURNITURES, appareils et ustensiles.	NOMBRE	PRIX de l'unité.	DÉPENSE totale.
Interrupteurs simples de 5 ampères	60	2f	120f
— — 15 —	7	8	56
Coupe-circuit de 5 ampères. . .	84	1	84
— 20 — . . .	7	4	28
Résistances fixes	2	20	40
Lustre du café à 8 becs	1	400	400
Lustres des billards, salle à manger, salons, antichambre, à 2 becs. .	8	40	320
Lustres de la lingerie, de la cuisine, à 2 becs	2	15	30
Appliques de la serre, de la salle à manger, du bureau, à 1 bec. . .	6	15	90
Supports des autres lampes isolées.	41	5	205
Lustres de l'appartement	3	80	240
Lampes à incandescence	84	1,10	92,40
Douilles des lampes à incandescence	84	1	84
Commutateurs à 2 directions et 1 touche nulle.	3	10	30
Résistances pour veilleuses . . .	3	20	60
Fil de 3 millimètres de diamètre, isolement moyen (le kilomètre).	40m	480	19,20
Fil de 2,5 millimètres de diamètre, isolement moyen (le kilomètre).	30	350	10,50
Fil de 2 millimètres de diamètre, isolement moyen (le kilomètre).	20	270	5,40
Fil de 1,5 millimètre de diamètre, isolement moyen (le kilomètre).	220	200	44
Fil de 1 millimètre de diamètre, isolement moyen (le kilomètre).	880	125	110
Fil de ferro-nickel de 0,5 à 4 millimètres de diamètre.			25
Tubes de caoutchouc pour ferro-nickel			6
Pose des fils (le mètre)	1 250	0,20	250
Crochets émaillés (le cent) . . .	600	2	12
Pose des lampes et appareils. . .			100
Sommes à valoir pour travaux imprévus.			138,50
Total.			2 600
Total général pour l'installation.			16 000

261. Prix de revient du carcel-heure. — Pour évaluer le prix de revient du carcel-heure, nous affecterons aux deux espèces d'éclairage la valeur de la partie qui leur est com-

mune, proportionnellement aux intensités du courant dépensé d'une part par les régulateurs à arc, et d'autre part par les lampes à incandescence.

262. Frais d'installation. — Cette partie commune aux deux éclairages comprend 11 600 francs pour les machines, plus 500 francs pour la canalisation.

Les régulateurs à arc absorbent 18,5 ampères ; les lampes à incandescence utilisent 36,28 ampères. Les sommes de 11 600 et 500 francs doivent donc être réparties de la façon suivante :

	Arc.	Incandescence.
Machines	$\frac{11\,600 \times 18,5}{54,78} = 3\,918$ f	$\frac{11\,600 \times 36,28}{54,78} = 7\,682$ f
Canalisation	$\frac{500 \times 18,5}{54,78} = 169$ f	$\frac{500 \times 36,28}{54,78} = 331$ f

Nous admettrons une moyenne de 2 200 heures par an pour la durée totale de l'éclairage journalier (nº 200).

263. Frais d'entretien et de combustible. — La dépense relative à la marche du moteur peut être estimée ainsi qu'il suit, pour une heure :

Gaz 12 mètres cubes à 0 f. 30	3,60
Mécanicien et surveillance	0,80
Graissage et eau.	0,20
Total.	4,60

Cette somme peut être répartie de la façon suivante :

$$\text{Arc} \quad \frac{4.60 \times 18,5}{54,78} = 1 \text{ f } 555$$

$$\text{Incandescence} \quad \frac{4,60 \times 36,28}{54,78} = 3\text{f}.045$$

264. Lampes à arc. Le prix de revient de l'heure d'éclairage peut être évalué comme suit :

1° Intérêt et amortissement des machines à 15 pour 100 sur 3 918 fr	587,70
Intérêt et amortissement de la canalisation commune à 10 pour 100 sur 169	16,90
Intérêt et amortissement de la canalisation spéciale à 10 pour 100 sur 1 300	130 »
Total pour 2 200 heures	734,60
Soit par heure	0,334
2° Force motrice par heure	1,555

3° Usure des charbons. Pour les lampes de 4,5 ampères, supposons que nous utilisons des crayons de 6,5 et 10 millim., et que pour les régulateurs de 14 ampères, nous nous servions de crayons de 13 et 20 millim. (n° 154). L'usure des charbons étant en moyenne de 5 centim. pour le positif et 3 centim. pour le négatif par heure et par lampe, la dépense totale relative à leur remplacement est la suivante :

Charbons à âme de	10 millimètres :	0,10 mètre	à 0,31	0,031
—	20 —	0.10	à 1,10	0,110
Charbons homogènes de	6,5 —	0,06	à 0,21	0,013
—	13 —	0,06	à 0,40	0,024
Total par heure				2,067

Cette dépense de 2 fr. 067 est relative à l'éclairage de deux régulateurs de 30 carcels et deux régulateurs de 140 carcels, soit en tout 340 carcels-heure. Le prix de revient du carcel-heure ressort par suite à 0 fr. 0060.

265. Lampes à incandescence. — Le prix de revient d'une heure de l'éclairage des lampes à incandescence peut être estimé de la façon suivante :

1° Intérêt et amortissement des machines à 15 pour 100 sur 7 682	1 152,30
Intérêt et amortissement de la canalisation à 10 pour 100 sur 331	33,10
Intérêt et amortissement de la canalisation à 10 pour 100 sur 2 600	260
Total pour 2 200 heures	1 445,40

Soit par heure.	0,657
2° Force motrice par heure	3,045
3° Remplacement des lampes. L'installation comprend 76 lampes; une lampe dure 1 000 heures en moyenne. Donc, par heure, il faudra remplacer 0,076 lampe valant 1 fr. 10 pièce, soit. .	0,084
Total.	3,786

Cette dépense est relative à l'allumage de 56 lampes à incandescence de 16 bougies et de 20 lampes de 10 bougies, soit 1 096 bougies, représentant environ 109 carcels à raison d'un carcel par 10 bougies (n° 119).

Le prix de revient du carcel-heure s'élève par suite à 0,035.

266. Comparaison avec l'éclairage au gaz. — Nous avons vu au n° 205 qu'un carcel-heure d'éclairage au gaz par becs Bengel coûte environ 0 fr. 037; il en résulte que l'éclairage par lampe à incandescence, dans les conditions du problème, revient sensiblement au même prix que l'éclairage ordinaire au gaz, ce qui est un fort joli résultat, étant données les sujétions de l'installation. Il est toutefois sensiblement plus cher que l'éclairage par becs Auer, lequel revient à 0 fr. 010 par carcel-heure.

L'éclairage par lampe à arc, à quantité totale de lumière égale, coûte beaucoup moins cher que l'éclairage au gaz, même par becs Auer.

Si l'on veut mettre en parallèle, comme au n° 209, non pas les deux quantités totales de lumière émise dans l'espace, mais les résultats de l'éclairement obtenu, d'une part avec les lampes à arc telles qu'elles sont installées, et d'autre part avec le nombre minimum de becs de gaz judicieusement répartis qui fourniraient la même quantité de lumière sur la surface à éclairer, la comparaison présentera un certain aléa; car le nombre des becs de gaz à placer dans le jardin, varie essentiellement avec la disposition des tables, sièges, etc.

Il serait toutefois nécessaire, pour obtenir un éclairage

comparable à celui des lampes à arc, d'employer 2 lanternes de 30 carcels sur la façade, et au moins 4 lanternes de 50 carcels dans le jardin, soit en tout 260 carcels. A raison de 0 fr.010 par heure et par carcel, l'éclairage au gaz par becs Auer coûterait 2 fr. 60 par heure, tandis que l'éclairage par régulateurs à arc ne revient qu'à 2 fr. 067. L'avantage, dans ce cas, reste donc en faveur de l'éclairage électrique par lampes à arc sur les becs Auer, c'est-à-dire sur le mode d'éclairage au gaz le plus économique.

TROISIÈME EXEMPLE.

Éclairage par dynamo et accumulateurs.

267. Données. — Il s'agit d'éclairer l'usine réprésentée figure 66, qui se compose de cinq bâtiments. Sur la façade, le bâtiment A comprend, au rez-de-chaussée, le magasin de vente et les bureaux, qui doivent être éclairés depuis la tombée de la nuit jusqn'à huit heures du soir; au premier étage, les appartements du directeur de l'usine, et au deuxième les logements d'employés, de garçons de magasin, etc. ; tous ces locaux sont éclairés par des lampes à incandescence. Les lampes du premier étage seront allumées au maximum depuis la tombée de la nuit jusqu'à minuit, et celles du deuxième, au plus pendant 2 heures par jour.

Le bâtiment B, à gauche, comprend un seul atelier où l'on a besoin d'une bonne lumière moyenne.

Le bâtiment C, à droite, se compose du magasin de dépôt occupant les trois quarts de sa superficie, le dernier quart étant réservé à une halle d'expédition à l'extrémité du bâtiment. Ces pièces n'ont besoin que d'un éclairage faible.

Le bâtiment D, au fond de la cour, se compose de deux petits ateliers à éclairer à peu près comme ceux du bâtiment B.

Ces trois bâtiments, B, C, D, doivent être éclairés par des régulateurs à arc.

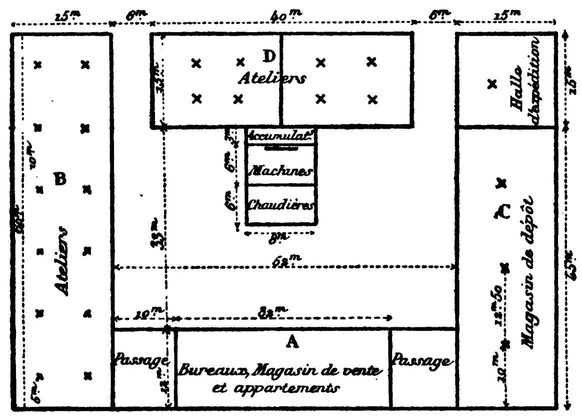


Fig. 66

Le cinquième bâtiment E, comprenant les machines, chaudières et accumulateurs, est éclairé par des lampes à incandescence, à cause de la faible dimension des pièces qui le composent.

Enfin deux lampes à arc de 30 carcels éclairent la façade du bâtiment A jusqu'à huit heures du soir ; la cour est éclairée jusqu'à la même heure par un régulateur de même module.

Un circuit de secours sera installé dans les ateliers pour le cas où une avarie subite se produirait à la dynamo ou à la machine motrice pendant l'éclairage.

Les ateliers sont ouverts jusqu'à 6 heures du soir.

268. Choix et disposition des lampes.—Les bâtiments

B et D ayant besoin d'être assez bien éclairés, il conviendra d'employer des régulateurs d'un modèle moyen, et assez rapprochés. On obtiendra une bonne disposition en plaçant deux lignes de lampes à arc, au tiers et aux deux tiers de la largeur des salles à éclairer. Le bâtiment B ayant 60 mètres de longueur pourra comprendre 6 rangées de lampes espacées de 10 mètres, la première et la dernière étant distantes du mur de 5 mètres.

Chaque foyer éclairera dans ces conditions une surface de 75 mètres carrés. Des foyers de 50 carcels produiront un très bon éclairage moyen (n° 161).

Au bâtiment D, des foyers de 50 carcels conviendront aussi, à condition d'employer 4 lampes de 50 carcels pour chacun des deux ateliers qui le composent, et dont la surface est de 300 mètres carrés. Chaque foyer de 50 carcels éclairera par suite également 75 mètres carrés.

Quant au bâtiment C, comme il suffit pour lui d'un faible éclairage, nous emploierons 4 foyers en tout, distants de 15 mètres l'un de l'autre et de 7,50 mètres des murs. Chaque lampe éclairant 225 mètres, il sera suffisant d'employer des régulateurs de 100 carcels.

La salle des chaudières, ayant 48 mètres carrés, sera suffisamment éclairée par 4 lampes de 16 bougies, ainsi que la salle des machines. Dans celle des accumulateurs, 2 lampes de 16 bougies suffiront.

Nous admettrons que le rez-de-chaussée du bâtiment A, ayant 384 mètres carrés, est éclairé par 50 lampes à incandescence de 16 bougies ; que le premier exige 30 lampes de 16 bougies, et le deuxième, 20 lampes du même module.

La disposition des lampes à arc des bâtiments d'exploitation permet de former partout des circuits de 4 foyers ; le bâtiment B comprendra 3 circuits ; le bâtiment D deux, et le bâtiment C un seul ; les lampes à incandescence du bâtiment E formeront un septième circuit sur lequel, bien entendu, elles seront branchées en dérivation.

269. Emploi d'accumulateurs. — Les ateliers ne fonctionnant que jusqu'à six heures du soir, il est indispensable, pour éclairer le bâtiment A après l'arrêt de la dynamo, de recourir à l'emploi d'accumulateurs. Ces accumulateurs seront chargés par la dynamo jusqu'à l'heure du commencement de l'éclairage des ateliers. A partir de ce moment, les accumulateurs assureront l'éclairage du bâtiment A, ainsi que celui de la façade et de la cour. Il ne faudrait pas songer à éclairer le bâtiment A jusqu'à six heures, au moyen de la dynamo, réservant les accumulateurs pour alimenter, après six heures, les lampes qu'il contient. Nous avons vu en effet au n° 114 que les régimes d'éclairage sont différents lorsqu'on utilise directement une dynamo, ou lorsqu'on passe par l'intermédiaire d'accumulateurs chargés par la même machine.

Le circuit de secours sera également alimenté par les accumulateurs. Mais, pour les raisons qui ont été développées au n° 114, il faudra employer un circuit spécial. Les lampes des circuits généraux fonctionneraient très mal, ou pas du tout, si on les branchait sur les accumulateurs, dont la force électromotrice, à la décharge, n'est en moyenne que les $\frac{4}{5}$ de celle de la dynamo. On installera donc, pour le circuit de secours, des conducteurs alimentant un petit nombre de lampes à incandescence, par exemple quatre dans chacun des grands bâtiments B et C, deux dans le bâtiment D et une dans chaque pièce du bâtiment E.

270. Intensité des lampes. — D'après ce que nous venons d'indiquer, les lampes à arc seront disposées en 6 circuits de 4 foyers. Nous avons vu (n° 163) que dans ces conditions la force électromotrice de la dynamo doit être de 210 volts.

D'après les indications des nos 157 et 158, nous savons que les lampes à arc de 100 carcels, absorbent 5,25 watts par carcel avec une différence de potentiel aux bornes de 47 volts et consomment 11,2 ampères. De même celles de 50 carcels absorbant 5,75 watts par carcel avec un voltage de 42 volts consomment 6,9 ampères; celles de 30 carcels, à 6 watts par carcel, avec un voltage de 40 volts, consomment 4,5 ampères.

Les lampes à incandescence du bâtiment E devront être tarées à 209 volts. Elles sont tout près de la dynamo, et la perte de charge qui résulte de leurs conducteurs est sensiblement égale à 1 volt, comme nous le verrons plus loin, lorsqu'on donne aux fils le diamètre minimum indiqué au no 133. Comme elles doivent fournir 16 bougies, elles demanderont 56 watts à raison de 3,5 watts par bougie (no 126), soit 0,27 ampère pour un courant de 209 volts.

271. Détermination de la dynamo. — L'intensité totale des courants des circuits alimentant les différentes lampes est résumée ci-dessous :

Bâtiment B. 3 circuits pour régulateurs de 50 carcels, en série de 4, à 6,9 ampères : 6,9 × 3 =	20,7 ampères.
Bâtiment D. 2 circuits pour régulateurs de 50 carcels : 6,9 × 2 = . . .	13,8
Bâtiment C. 1 circuit pour régulateurs de 100 carcels, en série de 4, à 11,2 ampères :	11,2
Total pour les lampes à arc.	45,7
Bâtiment E. 1 circuit pour 10 lampes à incandescence de 16 bougies, en dérivation, à 0,27 ampère : 0,27 × 10 = .	2,7
Intensité totale nécessaire. .	48,4

La dynamo devra fournir un courant de 50 ampères

sous une force électromotrice de 210 volts, correspondant à une puissance de

$$210 \times 50 = 10\,500 \text{ watts},$$

pour l'éclairage direct. Nous verrons plus loin qu'elle est suffisante dans la journée pour la charge des accumulateurs, qui exige seulement un courant de 40 ampères (nº 275). Cette dynamo, destinée à charger des accumulateurs, devra être excitée en dérivation (nº 56).

272. Conducteurs alimentant les régulateurs. — La figure 67 mentionne la longueur des conducteurs des différents circuits relatifs aux foyers à arc. Le tableau suivant

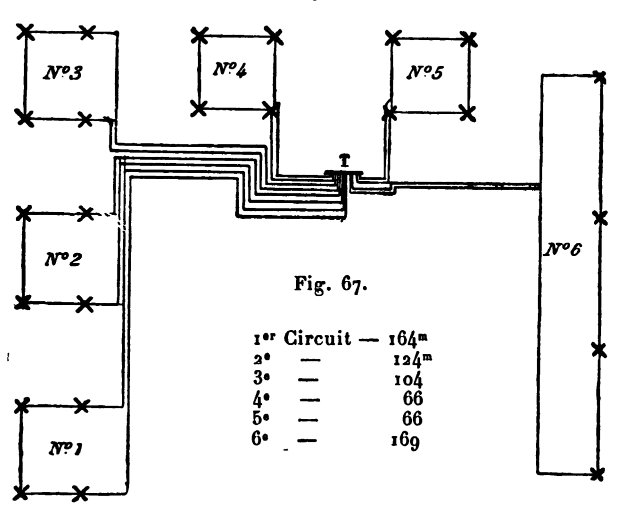


Fig. 67.

1er Circuit	—	164m
2e	—	124m
3e	—	104
4e	—	66
5e	—	66
6e	—	169

indique les diamètres qu'il y a lieu de leur attribuer, à raison de 3 ampères par millimètre carré (nº 133), et la perte de charge correspondante, calculée comme dans les nombreux exemples qui en ont déjà été donnés jusqu'ici (nos 138, 220 et suivants).

NUMÉROS des circuits.	INTENSITÉS en ampères.	DIAMÈTRES en millimètr.	PERTES de charge par kilomètre en volts.	LONGUEURS en mètres.	PERTES de charge totales.
	a	mm	v	m	v
1	6,9	1,7	54,48	164	8,93
2	6,9	1,7	54,48	124	6,76
3	6,9	1,7	54,48	104	5,67
4	6,9	1,7	54,48	66	3,60
5	6,9	1,7	54,48	66	3,60
6	11,2	2,2	52,79	169	8,92

273. Rhéostats. — La différence de potentiel aux bornes des lampes étant de 42 volts pour chacun des régulateurs de 50 carcels, et de 47 volts pour ceux de 100 carcels, le voltage nécessaire aux cinq premiers circuits sera égale à

$$42 \times 4 = 168 \text{ volts},$$

et au sixième, à

$$47 \times 4 = 188 \text{ volts}.$$

La différence à 210 volts, soit 42 volts pour les cinq premiers circuits et 22 volts pour le sixième, devra être absorbée par les lignes et les rhéostats. Les diamètres des fils des rhéostats seront, d'après le numéro 315, de 2,5 millimètres pour les courants de 6,9 ampères et de 3,5 millimètres pour le courant de 11,6 ampères, si ces rhéostats sont en ferro-nickel, et si l'on tient à ce que leur température ne dépasse pas 70 degrés centigrades.

La longueur des fils à employer pour leur construction est indiquée dans le tableau ci-après, établi sur les mêmes principes que ceux des numéros 137, 237 et suivants :

NUMÉROS des circuits.	PERTES de charge dans le circuit.	PERTES de charge totales à obtenir.	DIFFÉRENCES à absorber par le rhéostat.	INTENSITÉS des courants.	DIAMÈTRES du fil des rhéostats.	RÉSISTANCES par kilomètre en ohms.	PERTES de charge par mètre en ohms.	LONGUEURS du fil des rhéostats.
	v	v	v	a	mm	ohms	ohm	m
1	8,93	42	33,07	6,9	2,5	170	1,17	28,30
2	6,76	42	35,24	6,9	2,5	170	1,17	30,10
3	5,67	42	36,33	6,9	2,5	170	1,17	31,05
4	3,60	42	38,40	6,9	2,5	170	1,17	32,80
5	3,40	42	38,40	6,9	2,5	170	1,17	32,80
6	8,92	22	13,08	11,2	3,5	86	0,96	13,60

274. 7me circuit. — Le septième circuit, qui comprend les lampes à incandescence du bâtiment E, est représenté figure 68. Les diamètres des conducteurs et les pertes de charge correspondantes sont indiquées au tableau ci-dessous, établi comme celui du n° 220.

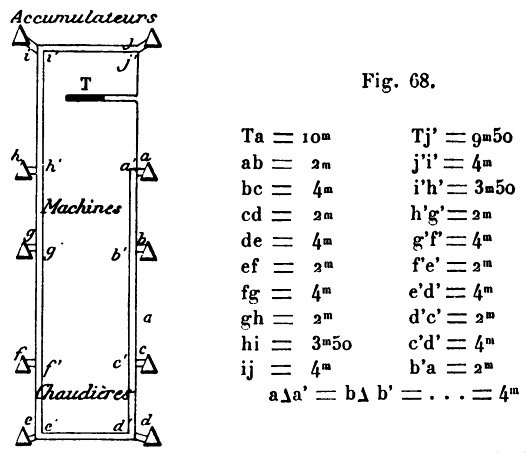


Fig. 68.

La disposition en boucle (n° 139) est tout indiquée dans ce cas d'après les emplacements qu'occupent les lampes. Il n'y a en effet aucun circuit en dérivation simple qui conduirait à une plus faible longueur de conducteurs.

LAMPES.	CONDUCTEURS.	INTENSITÉS en ampères.	DIAMÈTRES en millimètres.	PERTES de charge par kilom. en volts	LONGUEURS en mètres.	PERTES DE CHARGE EN VOLTS partielles.	PERTES DE CHARGE EN VOLTS depuis l'origine
	1er fil de la boucle	a	mm	v	m	v	
	Ta	2,70	1,5	27,38	10	0,27	v
	ab	2,43	1,5	24,64	2	0,05	0,32
	bc	2,16	1	49,28	4	0,20	0,52
	cd	1,89	1	43,12	2	0,09	0,61
	de	1,62	1	36,96	4	0,15	0,76
	ef	1,35	1	30,81	2	0,06	0,82
	fg	1,08	1	24,64	4	0,10	0,92
	gh	0,81	1	18,48	2	0,04	0,96
	hi	0,54	1	12,32	3,50	0,04	1
	ij	0,27	1	6,16	4	0,02	1,02
	2e fil de la boucle.						
	Tj'	2,70	1,5	27,38	9,50	0,26	0,26
	j'i'	2,43	1,5	24,64	4	0,10	0,36
	i'h'	2,16	1	49,28	3,50	0,17	0,53
	h'g'	1,89	1	43,12	2	0,09	0,62
	g'f'	1,62	1	36,96	4	0,15	0,77
	f'e'	1,35	1	30,81	2	0,06	0,83
	e d'	1,08	1	24,64	4	0,10	0,93
	d'c'	0,81	1	18,48	2	0,04	0,97
	c'b'	0,54	1	12,32	4	0,05	1,02
	b'a	0,27	1	6,16	2	0,01	1,03
	Branchements.						
Machines .	a Δ a'	0,27	1	6,16	4	0,02	1,32
	b Δ b'	0,27	1	6,16	4	0,02	1,36
Chaudières. . . .	c Δ c'	0,27	1	6,16	4	0,02	1,51
	d Δ d'	0,27	1	6,16	4	0,02	1.56
	e Δ e'	0,27	1	6,16	4	0,02	1,61
	f Δ f'	0,27	1	6,16	4	0,02	1,61
Machines .	g Δ g'	0,27	1	6,16	4	0,02	1,56
	h Δ h'	0,27	1	6,16	4	0,02	1,51
Accumulateurs.	i Δ i'	0,27	1	6,16	4	0,02	1,38
	j Δ j'	0,27	1	6,16	4	0,02	1,30

La plus forte perte de charge est de 1,61 volt ; les lampes étant tarées à 209 volts, la différence de potentiel aux bornes des lampes est inférieure de moins d'un quart pour 100 au voltage indiqué. Cette différence est inappréciable et il n'y a pas lieu de s'en préoccuper.

275. Accumulateurs. — Voyons d'abord le nombre d'accumulateurs que pourra charger la dynamo. Chaque accumulateur, une fois chargé à refus, possède une force électromotrice de 2,45 volts (n° 90). En comptant, pour une première approximation, sur un rendement en volt de 90 pour cent, la dynamo, ayant une force électromotrice de 210 volts, pourra charger une batterie d'accumulateurs ayant une force électromotrice maxima de

$$\frac{210 \times 90}{100} = 189 \text{ volts.}$$

et composée par suite de 77 éléments, à raison de 2,45 volts par élément.

Pendant la plus grande partie de la décharge, la différence de potentiel aux bornes de la batterie, à raison de 2,05 volts par élément (n° 91), atteindra

$$2{,}05 \times 77 = 157{,}85 \text{ volts.}$$

Les accumulateurs doivent alimenter :

1° 3 lampes à arc de 30 carcels, que nous placerons en série sur un seul circuit, lequel exigera, comme nous l'avons vu plus haut (n° 270), un courant de 4,5 ampères pendant 4 heures au plus (n° 267), soit 18 ampères-heure.

2° 100 lampes à incandescence de 16 bougies. La force électromotrice moyenne de la batterie d'accumulateurs étant égale à 157,85 volts, nous supposerons, toujours comme première approximation, que les lampes sont tarées à 150 volts. L'intensité nécessaire pour fournir

56 watts, à raison de 3,5 watts par bougie pour des lampes de 16 bougies (nº 126) égale à

$$\frac{56}{150} = 0{,}38 \text{ ampère.}$$

Le nombre d'ampères-heure à fournir par la batterie d'accumulateurs sera, pour l'éclairage des lampes à incandescence, au plus égal à 182,4 ampères-heure ainsi détaillés :

(*a*) Rez-de-chaussée : 50 lampes brûlant pendant 4 heures au plus, à raison de 0,38 ampère-heure par lampe et par heure	76 amp.-h.
(*b*) 1er étage : 30 lampes brûlant pendant 8 heures au plus, à raison de 0,38 ampère-heure par lampe et par heure.	91,2
(*c*) 2me étage : 20 lampes brûlant pendant 2 heures au plus, à raison de 0,38 ampère-heure par lampe et par heure.	15,2
Total.	182,4

En y ajoutant les 18 ampères-heure nécessaires aux foyers à arc, nous arrivons à un total de 200 ampères-heure.

Les accumulateurs ont une capacité minima de 5 ampères-heure par kilogramme de plaques (nº 85). Pour emmagasiner 200 ampères-heure, il faudra des éléments de 40 kilogs.

Ces éléments pourront alimenter sans fatigue les lampes auxquelles ils doivent fournir le courant. En admettant en effet qu'elles soient toutes allumées ensemble, elles ne dépenseraient que 4,5 ampères pour les 3 régulateurs et 38 ampères pour les 100 lampes à incandescence, soit en tout 42,5 ampères ; et nous avons vu (nº 91) que les accumulateurs débitent facilement, à la décharge, 1 à 1,5 ampère par kilogramme de plaque, soit 40 à 60 ampères pour des accumulateurs de 40 kilogs.

Les accumulateurs doivent être chargés avec une intensité de 0,7 à 1 ampère par kilogramme de plaque, soit de 28 à 40 ampères. La dynamo remplira facilement cette condition, puisqu'elle peut produire un courant de 50 ampères. D'autre part, elle aura tout le temps voulu pour charger les éléments dans la journée, avant l'allumage des ateliers, puisque nous disposons d'au moins 8 heures pour la charge, et qu'en envoyant dans la batterie un courant de 28 à 40 ampères pendant ces 8 heures, on accumule 224 à 320 ampères-heure, qui peuvent rendre à la décharge 179 à 256 ampères-heure, en admettant un rendement de 80 pour cent (n° 94).

Voyons quelles seront les conditions de réglage des rhéostats au commencement et à la fin de la charge de la batterie.

Au commencement de la charge, supposons que la batterie soit complètement déchargée à 1,9 volt par élément (n° 91), soit 146,3 volts.

La résistance intérieure des accumulateurs est égale à

$$\rho = \frac{0{,}08}{P} \text{ (n° 86)}$$

Pour des éléments de 40 kilogs, cette résistance sera de 0,002 ohm par accumulateur, soit 0,154 ohm pour 77 éléments.

Le câble qui conduit le courant de 40 ampères du tableau de distribution aux accumulateurs doit avoir une section minima de 13,3 millimètres carrés, à raison de 3 ampères par millimètre carré. Choisissons un câble de 7 torons de 1,6 millimètre ayant une section de 14,07 millimètres carrés, et une résistance de 1,34 ohm par kilomètre (n° 316). Supposons qu'il ait une longueur de 20 mètres pour les deux conducteurs positif et négatif. Sa résistance totale est de 0,027 ohm.

L'équation de la charge, établie au n° 93, est la suivante :

$$E - ne = i\,(r + n\,\rho)$$

Si nous remplaçons les lettres par des nombres, nous obtenons, en admettant que le courant de charge soit fixé à 40 ampères au début de la charge :

$$210 - 77 \times 1{,}9 = 40\,(r + 77 \times 0{,}002)$$

d'où

$$r = 1{,}438 \text{ ohm.}$$

La résistance du câble étant égale à 0,027 ohm, le rhéostat devra présenter une résistance de 1,411 ohm.

A la fin de la charge, en admettant que l'intensité du courant soit réduite à 30 ampères, l'équation devient :

$$210 - 77 \times 2{,}45 = 30\,(r + 77 \times 0{,}002)$$

d'où

$$r = 0{,}557 \text{ ohm.}$$

La résistance du rhéostat devra être réduite à 0,530 ohm.

276. Nombre et poids des éléments. — Ces conditions sont admissibles, mais la dernière équation montre qu'on utiliserait mieux la dynamo en prenant une batterie de 83 accumulateurs. La dynamo pourrait en effet charger 83 éléments dans les conditions d'installation qui viennent d'être décrites. A la fin de la charge, c'est-à-dire au moment où il est nécessaire de développer la force électromotrice la plus élevée, une équation analogue aux précédentes montre en effet que pour 83 éléments cette force électromotrice doit être égale à

$$E = 83 \times 2{,}45 + 30\,(0{,}027 + 83 \times 0{,}002) = 209{,}16 \text{ volts ;}$$

la dynamo est donc suffisante pour charger la batterie, puisqu'elle produit 210 volts.

Nous constituerons par suite la batterie au moyen de 80 éléments en tension, auxquels nous ajouterons 3 accumu-

lateurs de secours (n° 102). Un calcul analogue au précédent montre que le poids des plaques doit être de 40 kilogs.

La tension de la batterie, pendant la plus grande partie de la décharge, sera égale à

$$2{,}05 \times 80 = 164 \text{ volts.}$$

277. Lampes alimentées par la batterie. — Les lampes du bâtiment A devront être tarées à 160 volts, en admettant une perte en ligne de 4 volts ; pour avoir une intensité lumineuse de 16 bougies, correspondant à 56 watts, il sera nécessaire d'employer un courant ayant, pour chaque lampe, une intensité de

$$I = \frac{W}{E} = \frac{56}{160} = 0{,}35 \text{ ampère.}$$

La plus grande intensité du courant de décharge, nécessaire aux lampes à incandescence, sera égale à 35 ampères pour 100 lampes. En y ajoutant les 4,5 ampères nécessaires aux régulateurs, nous voyons que la batterie devra fournir un courant ayant une intensité maxima de 39,5 ampères.

La quantité d'électricité à emmagasiner est détaillée de la façon suivante :

1° Lampes à arc. — 4,5 ampères pendant 4 h. au maximum. 18 amp.-h.

2° Lampes à incandescence :

Rez-de-ch. —	50 lampes	à 0,35 amp.	pendant	4 h.	70	—
1er Etage	30	— 0,35	—	8 h.	84	—
2e Etage	20	— 0,35	—	2 h.	14	—
	Total.				186	amp.-h.

278. Charge de la batterie. — La batterie, composée d'éléments de 40 kilogs, sera chargée par un courant de 40 ampères, que l'on abaissera graduellement vers la fin de la charge jusqu'à 30 ampères (n° 90). En prenant un chiffre

moyen de 80 pour 100 pour le rendement des accumulateurs en intensité, la quantité d'ampères-heure qu'il sera nécessaire d'envoyer dans la batterie sera égale à

$$\frac{186 \times 100}{80} = 233 \text{ ampères-heure.}$$

Le courant de charge ayant en moyenne une intensité de 37 ampères, il sera nécessaire de charger la batterie pendant :

$$\frac{233}{37} = 6 \text{ heures } 20 \text{ minutes.}$$

279. Rhéostat de ligne. — Au commencement de la charge, c'est-à-dire au moment où le courant à envoyer dans la batterie nécessite l'introduction de la résistance la plus grande, comme le montrent les deux égalités du n° 275, cette résistance est déterminée d'après la formule suivante lorsqu'on charge 80 éléments par un courant de 40 ampères :

$$210 - 80 \times 1{,}9 = 40\,(r + 80 \times 0{,}002).$$

d'où $r = 1{,}29$ ohm. Il suffit par suite d'employer un rhéostat variable de 0 à 2 ohms.

280. Circuit du bâtiment A. — Le courant est amené de la salle des accumulateurs au bâtiment A par un câble sous plomb, enterré. Il aboutit à un tableau de distribution d'où l'on dessert les différents circuits partiels par la manœuvre d'interrupteurs disposés comme nous l'avons vu dans les exemples précédents.

281. Câble d'amenée. — Le câble qui conduit le courant des accumulateurs au bâtiment A a une longueur de 90 mètres (aller et retour). Il livre passage à un courant de 35 ampères, et devrait par suite avoir une section minima de 11,66 millimètres carrés, à raison de 3 ampères par milli-

mètre carré, si l'on ne tenait compte que de son échauffement (n° 103). Un câble de 7 torons de 1,5 millimètre de diamètre, ayant une section de 12,36 millimètres carrés (n° 316), remplirait cette condition. Sa résistance kilométrique étant de 1,45 ohm, il conduirait à une perte de charge de

$$1,45 \times 0,090 \times 35 = 4,57 \text{ volts},$$

supérieure à la perte de 4 volts qui a été admise (n° 277). Il y a lieu par suite d'augmenter sa section.

Nous adopterons un câble de 19 torons de 1,4 millimètre de diamètre, ayant une section de 29,26 millimètres carrés et une résistance de 0,61 ohm par kilomètre, provoquant une perte de charge de

$$0,61 \times 0,090 \times 35 = 1,92 \text{ volts}.$$

282. Circuits des lampes à incandescence. — Cette perte de charge est admissible. On calculera les circuits spéciaux relatifs aux lampes à incandescence des appartements et du magasin de manière à obtenir une perte de charge de 2 volts environ, de sorte que la perte totale sera égale à 4 volts. Ce calcul se fera comme les précédents (nos 215 et suivants) ; nous n'y reviendrons pas.

Pour faire entrer en ligne de compte, dans le devis, cette partie de l'installation, nous supposerons que l'appareillage qui lui est relatif est proportionnel à celui des exemples précédents. Il comprendra approximativement, outre les 100 lampes et douilles :

80 interrupteurs et coupe-circuit de 5 ampères.
3 interrupteurs et coupe-circuit de 15 ampères.
50 mètres de fil de 3 millimètres de diamètre.
50 — 2
250 — 1,50
1 000 — 1
50 mètres de ferro-nickel de 1 millimètre, de diamètre, isolé.
800 crochets.
3 commutateurs à 2 directions et 1 touche nulle.
3 résistances fixes pour veilleuse.
Lustres, supports de lampes, etc. pour 1 500 francs.

283. Circuit des lampes à arc. — Les trois lampes à arc des façades et de la cour seront disposées en série sur un même fil représenté figure 69, enterré dans la traversée de la cour. Il doit livrer passage à un courant de 4,5 ampères, et par suite avoir une section de 1,5 millimètre carré à raison de 3 ampères par millimètre carré. Un fil de de 1,4

Circuit des lampes à arc alimentées par les accumulateurs.

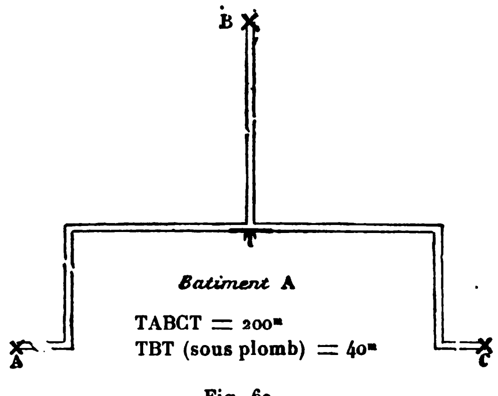


Fig. 69.

millimètre, ayant une section de 1,54 millimètre carré, sera suffisant. La perte de charge qui résulte du passage d'un courant de 4,5 ampères dans un pareil fil est égale à 52,38 volts par kilomètre, soit 10,48 volts pour une longueur de 200 mètres.

Les trois lampes à arc sont supposées réglées pour une différence de potentiel de 40 volts aux bornes des régulateurs (nº 158). Comme elles sont disposées en série, la différence de potentiel totale entre leurs bornes extrêmes devra être de 120 volts.

284. Rhéostat de réglage. — La force électromotrice

de la batterie d'accumulateurs est égale à 164 volts pendant la plus grande partie de la décharge, à raison de 2,05 volts par élément pour 80 éléments ; les foyers à arc absorbent 120 volts, le câble d'amenée 1,92 volt, et le fil du circuit des lampes, 10,48 volts, soit en tout 132,40 volts. La différence, soit 31,60 volts, devra être absorbée par le rhéostat de réglage. Le courant ayant une intensité de 4,5 ampères, la résistance du rhéostat devra être égale à

$$R = \frac{E}{I} = \frac{31{,}60}{4{,}5} = 7{,}02 \text{ ohms.}$$

Un rhéostat de 0 à 8 ohms conviendra par suite pour ce circuit.

285. Circuit de secours. — Le circuit de secours est dé-

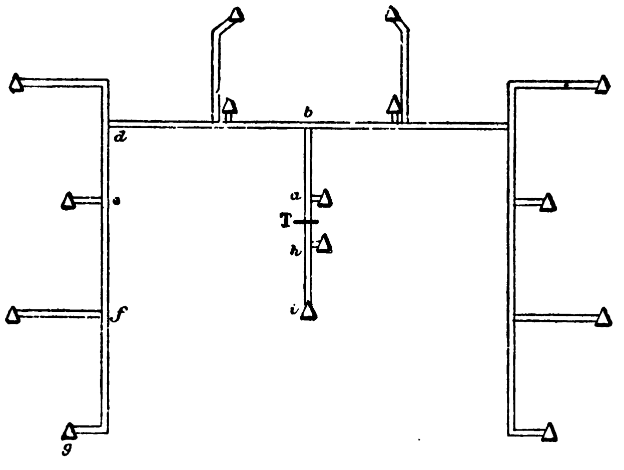


Fig. 70.

$Ta = 6^m$	$a\Delta = 6^m$	$ab = 3^m$	
$cb = 14^m$	$c\Delta = 8^m$		
	$c\Delta = 38^m$	$cd = 22^m$	$d\Delta = 44^m$
$de = 18^m$	$e\Delta = 8^m$	$ef = 24^m$	$f\Delta = 38^m$
$fg = 24^m$	$g\Delta = 8^m$	$Th = 2^m$	$h\Delta = 6^m$
$hi = 12^m$	$i\Delta = 6^m$		

rivé sur les accumulateurs. De cette façon, il permettra d'éviter l'obscurité absolue dans les ateliers, en cas d'arrêt forcé de la dynamo ou de la machine. Il pourra comprendre, par exemple, quatre lampes à incandescence de 16 bougies dans chacun des grands ateliers des bâtiments B, C et dans le bâtiment D, et une lampe dans chacune des petites salles du bâtiment E, soit 15 lampes en tout, comme l'indique la figure 70, sur laquelle on voit que les lampes sont disposées en dérivation simple. Les diamètres des fils, ainsi que la perte de charge relative à la lampe la plus éloignée, sont indiqués au tableau suivant, dans lequel on admet que l'intensité d'une lampe est égale à 0,35 ampère, comme pour celles du bâtiment A qui sont alimentées par les mêmes accumulateurs (n° 277).

LAMPES.	CONDUCTEURS.	INTENSITÉS en ampères.	DIAMÈTRES en millimètres.	PERTES de charge par kilom. en volts	LONGUEURS en mètres.	PERTES DE CHARGE EN VOLTS partielles.	depuis l'origine
		a	mm		m	v	
	Ta	4,55	1,4	52,96	6	0,32	v
	ab	4,20	1,4	48,89	3	0,15	0,47
	bc	2,10	1	47,91	14	0,67	1,14
	cd	1,40	1	31,95	22	0,70	1,84
	de	1,05	1	23,96	18	0,43	2,27
	ef	0,70	1	15,97	24	0,38	2,65
	fg	0,35	1	7,99	24	0,19	2,84
Bâtiment B	gA	0,35	1	7,99	8	0,06	2,90

La batterie d'accumulateurs ayant à la décharge une force électromotrice moyenne de 164 volts, on pourra prendre des lampes tarées à 160 volts pour ce circuit de secours comme pour le bâtiment A, sans se préoccuper de la différence de potentiel nominale des lampes et le voltage du courant. Elles sont en effet utilisées très rarement et durent plusieurs années. Il n'y a pas grand inconvénient à en for-

cer légèrement l'allure. Si l'on tenait toutefois à supprimer cet écart, il serait facile d'intercaler dans le circuit des petites résistances de réglage déterminées comme celles des nombreux exemples que nous avons donnés.

286. Tableau de distribution de la dynamo. — Le ta-

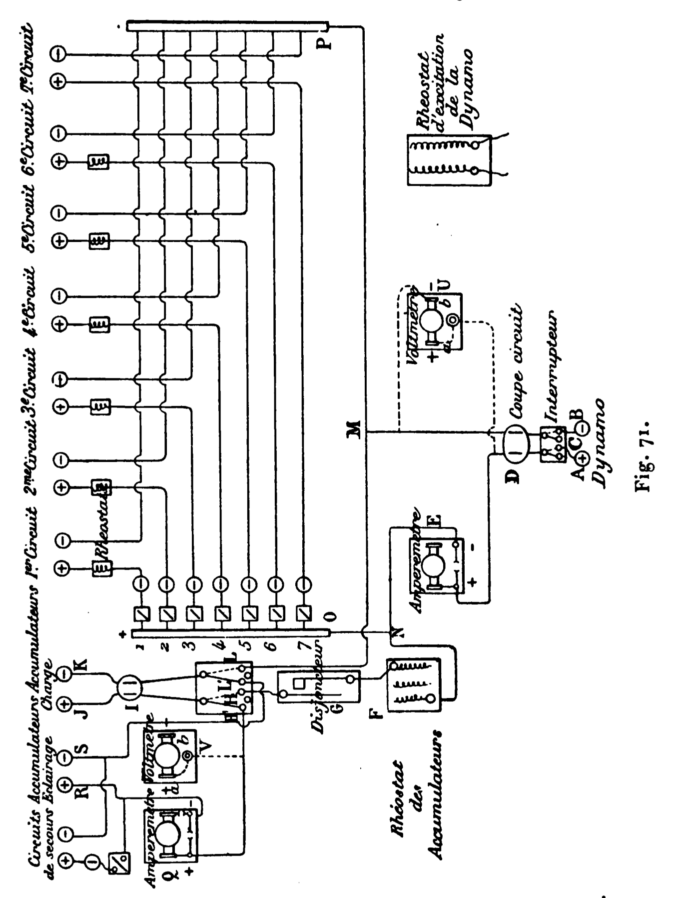


Fig. 71.

bleau de la distribution de la dynamo, représenté figure 71,

permet, par la manœuvre des différents commutateurs, soit d'éclairer directement les ateliers, soit de charger les accumulateurs,soit d'éclairer le bâtiment A au moyen des accumulateurs, pendant ou après l'éclairage des ateliers.

Après avoir traversé l'interrupteur général et le coupe-circuit bipolaires, les fils se divisent en deux branchements, celui de droite destiné à l'éclairage des 7 circuits des ateliers, celui de gauche à la charge des accumulateurs. Le fil négatif est continu, sauf aux interrupteurs et coupe-circuit bipolaires. Tous les organes accessoires sont placés sur le fil positif. La disposition relative aux circuits d'éclairage des ateliers est analogue à celle du tableau de distribution de l'exemple précédent. Un interrupteur et un coupe-circuit spéciaux desservent chaque circuit.

Le fil positif des accumulateurs, après avoir traversé leur rhéostat spécial F et leur disjoncteur automatique G (n° 174), passe par un commutateur H et un coupe-circuit I bipolaires. Quand les branches du commutateur ont la position figurée en pointillé sur le dessin, les accumulateurs se chargent : au contraire, quand elles suivent la direction des traits pleins, les accumulateurs se déchargent dans le circuit d'éclairage du bâtiment A ou dans le circuit de secours, qui est toujours fermé par un interrupteur spécial, sauf dans les moments où il est utilisé.

Pendant la charge de la batterie d'accumulateurs, le courant suit le chemin A C D E F G H I J K L M B.

Pendant l'éclairage direct, il suit la ligne A C D E N O, circuit, P M B.

Enfin le courant d'éclairage par les accumulateurs traverse le circuit J I H' Q R S L' K.

Afin d'utiliser un seul ampèremètre et un seul voltmètre dans la lecture de l'intensité et de la force électromotrice dans les divers cas particuliers de charge et de décharge, on pourrait employer un jeu de commutateurs joints à une

disposition de fils assez compliquée. La fig. 71 indique une autre solution.

L'ampèremètre et le voltmètre sont mobiles et peuvent être placés sur des petites planchettes de bois ; deux de ces planchettes, E, U, sont relatives à la charge, et deux, Q, V, à la décharge. Le voltmètre n'est pas intercalé dans le circuit, comme nous l'avons vu au nº 68. Pour faire une lecture, on pousse le bouton placé au bas des planchettes ; les fils de prise de courant communiquent avec ce bouton et avec deux petites potences fixes *a*, *b*, sur lesquelles on serre fortement les bornes du voltmètre pour établir un bon contact chaque fois qu'on le change de place.

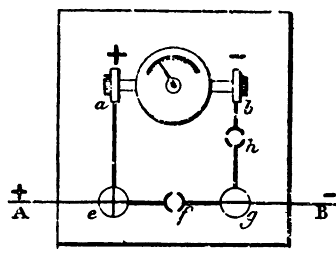


Fig. 72.

L'ampèremètre, au contraire, doit être intercalé dans le circuit lorsqu'on fait une lecture. Pour cela, on le place également entre deux petites potences *a b* fixées à la planchette (fig. 72). Deux bornes *e*, *g*, vissées sur cette planchette, sont reliées aux potences par trois barrettes conductrices *a e*, *e g*, *g b* ; les deux dernières sont fendues au milieu en *f* et *h*, et une cheville conductrice est susceptible d'établir la communication entre les deux portions des barrettes, comme dans les boîtes de résistance. Si l'on veut lire l'intensité du courant de charge, on met l'ampèremètre sur la planchette E (fig. 71), et la clef en *h* (fig. 72). Le courant suit le chemin A *e a h g* B, et l'aiguille de l'appareil indique l'intensité cherchée. Si au contraire on veut lire l'intensité du courant de décharge, on porte l'ampèremètre sur la planchette Q ; mais il faut avoir soin d'enlever la clef du trou *h* et de la la mettre en *f*. Sur la planchette E, le cou-

rant suit alors le chemin direct, d'une borne à l'autre, sans passer par les potences de l'ampèremètre. Les changements de clefs se font à la fois sur les deux planchettes, mais en sens inverse.

Ce petit dispositif, très commode, évite l'achat de plusieurs ampèremètres et voltmètres, quand on a des lectures à faire en plusieurs endroits.

Indépendamment de ces différents organes, le tableau de distribution porte le rhéostat d'excitation de la dynamo.

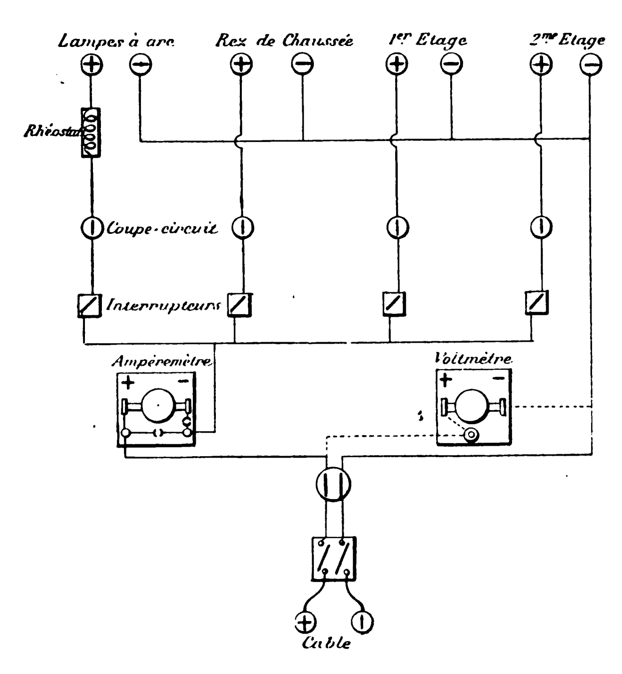


Fig. 73.

287. Conducteurs principaux de la dynamo. — Les

conducteurs principaux de la dynamo au tableau de distribution, destinés à laisser passer un courant de 50 ampères, devront avoir une section de 16,66 millimètres carrés à raisen de 3 ampères par millimètre carré. Un câble de 7 torons de 1,8 millimètre de diamètre, ayant une section de 17,78 millimètres carrés, remplira les conditions voulues.

288. Tableau du bâtiment A. — Le tableau du bâtiment A ne présente rien de particulier. Il est dessiné figure 73. Des planchettes analogues aux précédentes permettent d'y placer l'ampèremètre et le voltmètre en cas de besoin.

289. Devis de l'installation. — Nous évaluerons séparément la valeur des différentes parties de l'installation relatives aux divers modes d'éclairage, pour nous rendre compte du prix de revient du carcel-heure fourni par les lampes à arc et les lampes à incandescence, dans les deux cas de l'éclairage direct et de l'emploi des accumulateurs.

290. Dynamo. — L'installation de la dynamo peut être évaluée ainsi qu'il suit :

DÉTAIL DES FOURNITURES, appareils et ustensiles.	NOMBRE	PRIX de l'unité.	DÉPENSE totale.
Dynamo de 10 500 watts. . . .	1	2 000 f.	2 000 f.
Transmissions, pose.			200
Total. . . .			2 200 »

291. Appareillage commun à toute l'installation. — Toute la partie de l'installation, depuis la dynamo jusqu'aux branchements du tableau de distribution, est commune aux différentes espèces d'éclairage. Sa valeur peut être estimée de la façon suivante :

DÉTAIL DES FOURNITURES, appareils et ustensiles.	NOMBRE	PRIX de l'unité.	DÉPENSE totale.
Conducteurs principaux (le kilom.).	10ᵐ	1 580 f.	15 f. 80
Interrupteurs bipolaires de 50 amp.	1	30	30 »
Coupe-circuit — —	1	12	12 »
Ampèremètre	1	50	50 »
Voltmètre	1	60	60 »
Rhéostat d'excitation de la dynamo	1	60	60 »
Barres, fils du tableau de distribution.			10 »
Planchettes d'ampèremètre et de voltmètre.	4	15	60 »
Bornes.	22	1	22 »
Tableau de distribution	1	120	120 »
Divers.			20,20
Total.			460 »

292. Eclairage direct à arc. — L'installation des régulateurs directement alimentés par la dynamo peut être ainsi détaillée :

Interrupteurs de 15 ampères. . .	6	8 f.	48 f.
Coupe-circuit —	6	4	24 »
Rhéostats de réglage	6	20	120 »
Régulateurs de 50 carcels . . .	20	100	2 000 »
Régulateurs de 100 carcels. . . .	4	150	600 »
Fil de 2,2 millimètres, isolement moyen (le kilomètre).	170ᵐ	300	51 »
Fil de 1,7 milimètre, isolement moyen (le kilomètre).	530ᵐ	220	116,60
Pose du fil (le mètre).	700ᵐ	0,25	175 »
Crochets (le cent.).	300	2	6 »
Pose des lampes et accessoires. .			100 »
Somme à valoir pour les travaux imprévus.			159,40
Total.			3 400 »

293. Eclairage direct à incandescence. — Les lampes à incandescence alimentées directement par la dynamo conduisent à la dépense suivante :

Interrupteur de 15 ampères . . .	1	8 f.	8 f.
Coupe-circuit — . . .	1	4	4 »
Interrupteur de 5 ampères. . . .	10	2	20 »
Coupe-circuit — . . .	10	1	10 »

DÉTAIL DES FOURNITURES, appareils et ustensiles.	NOMBRE	PRIX de l'unité.	DÉPENSE totale.
Lampes à incandescence	10	1,10	11 »
Supports des lampes.	10	10	100 »
Douilles.	10	1	10 »
Fil de 1,5 millimètre, isolement moyen (le kilomètre).	30m	200	6 »
Fil de 1 millimètre, isolement moyen (le kilomètre).	90m	125	11,25
Pose des fils (le mètre).	120m	0,20	24 »
Crochets (le cent).	50	2	1 »
Somme à valoir pour imprévu. .			4,75
Total.			210 »

294. Circuit de secours. — Le prix de l'installation du circuit de secours est détaillé ci-dessous.

Interrupteur de 5 ampères. . . .	1	2 f.	2 f.
Coupe-circuit —	1	1	1 »
Lampes à incandescence	15	1,10	16,50
Douilles	15	1	15 »
Supports de lampes.	25	5	75 »
Fil de 1,4 millimètre, isolement moyen (le kilomètre).	10m	190	1,90
Fil de 1 millimètre, isolement moyen (le kilomètre).	530m	125	66,25
Pose des fils (le mètre).	540m	0,20	108 »
Crochets (le cent).	200	2	4 »
Somme à valoir pour imprévu. .			10,35
Total.			300 »

295. Accumulateurs. — Le prix d'achat et d'installation des accumulateurs conduit à la dépense suivante :

Accumulateurs de 40 kilogs . . .	83	85 f.	7 055 f.
Supports et acide	83	5	415 »
Mise en place et montage. . . .			100 »
Somme à valoir pour imprévu. .			280 »
Total.			7 850 »

296. Appareillage et tableau de distribution des accumulateurs. — L'appareillage spécial aux accumulateurs dans la canalisation générale, et le tableau de distribution

du bâtiment A, destiné à répartir la lumière entre les différents circuits alimentés par les accumulateurs, peuvent être estimés ainsi qu'il suit :

DÉTAIL DES FOURNITURES, appareils et ustensiles.	NOMBRE	PRIX de l'unité.	DÉPENSE totale.
Rhéostat.	1	40 f.	40 f.
Disjoncteur automatique	1	60	60 »
Commutateur bipolaire de 30 ampères, à 2 directions.	1	35	35 »
Coupe-circuit bipolaire de 30 amp.	1	12	12 »
Câble conducteur de 12,36 millimèt. carrés, isolement moyen (le kil.).	20m	1 230	24,60
Pose de ce câble. . . (le mètre).	20m	0,25	5 »
Câble de 12,36 millimètres carrés, sous plomb. . . (le kilomètre).	90m	2 680	241,20
Pose de ce câble. . . (le mètre).	90m	0,50	45 »
Planchettes d'ampèremètre . . .	2	15	30 »
Interrupteur bipolaire de 30 ampèr.	1	30	30 »
Coupe-circuit — —	1	12	12 »
Bornes de contact.	10	1	10 »
Fil et divers.			5 »
Tableau de distribution.			40 »
Somme à valoir pour imprévu . .			20,20
Total.			610 »

297. Régulateurs des cours. — La valeur du prix d'acquisition et de la pose du circuit des régulateurs des cours est détaillée ci dessous :

Interrupteur de 15 ampères. . .	1	8 f.	8 »
Coupe-circuit. — . . .	1	4	4 »
Rhéostat de réglage.	1	20	20 »
Régulateurs à arc de 30 carcels. .	3	100	300 »
Fil de 1,4 millimètre de diamètre, sous plomb . . (le kilomètre).	40m	480	19,20
Fil de 1,4 millimètre, isolement moyen. . . . (le kilomètre).	160m	200	32 »
Pose de ces fils. . . (le mètre).	200m	0,20	40 »
Pose des lampes et accessoires. .			30 »
Crochets. . . . . (le cent)	50	2	1 »
Somme à valoir pour imprévu. .			15,80
Total.			470 »

298. Lampes à incandescence du bâtiment A. — L'achat et l'installation des lampes à incandescence du bâtiment A peuvent être évalués comme suit :

DÉTAIL DES FOURNITURES, appareils et ustensiles.	NOMBRE	PRIX de l'unité.	DÉPENSE totale.
Interrupteurs de 15 ampères. . .	3	8 f.	24 f.
Coupe-circuit. — . . .	3	4	12 »
Lampes à incandescence. . . .	100	1,10	110 »
Douilles	100	1	100 »
Interrupteurs de 5 ampères . . .	80	2	160 »
Coupe-circuit. — . . .	80	1	80 »
Fil de 3 mill. de diam. isol. moy. (le k.)	50m	480	24 »
Fil de 2 — —	50m	270	13,50
Fil de 1,5 — —	250m	200	50 »
Fil de 1 — —	1 000m	125	125 »
Fil de ferro-nickel. —	50m	40	2 »
Tube de caoutchouc pour ce fil. .			5 »
Crochets . . . . (le cent).	800m	2	16 »
Pose des fils. . . . (le mètre).	1 400m	0,20	280 »
Lustres, supports, appliques, etc.			1 500 »
Commutateur à 2 directions et 1 touche nulle.	3	10	30 »
Résistances fixes pour veilleuse. .	3	20	60 »
Pose des lampes et appareils. .			150 »
Somme à valoir pour imprévu. .			58,50
Total.			2 800 »
Total général de l'installation.			18 300 »

299. Répartition des dépenses. — Nous allons évaluer séparément le prix de revient du carcel-heure produit par les lampes à arc et à incandescence, alimentées directement par la dynamo ou les accumulateurs. Dans cette estimation nous répartirons la dépense commune à toute l'installation, proportionnellement à l'intensité totale du courant des lampes qui composent chacun des quatre groupes que l'on peut ainsi séparer. Quant à la dépense relative à l'installation spéciale des accumulateurs, elle sera répartie proportionnellement aux nombres d'ampères-heure dépensés par les lampes à arc et à incandescence qu'ils alimentent.

Premier groupe : Régulateurs-Dynamo. — Les lampes à arc alimentées par la dynamo absorbent un courant ayant une intensité totale de 45,7 ampères (n° 271) ; elles brûlent jusqu'à 6 heures du soir, soit 380 heures (n° 200).

Deuxième groupe : Incandescence-Dynamo. — Les lampes à incandescence alimentées par la dynamo absorbent un courant de 2,7 ampères et brûlent également 380 heures par an.

Le pouvoir éclairant des lampes alimentées directement par la dynamo peut être évalué ainsi qu'il suit :

20 régulateurs de 50 carcels.	1 000 carcels.
4 — 100 —	400 —
10 lampes à incandescence de 16 bougies, soit 160 bougies ou.	16 —
Total.	1 416 carcels.

Troisième groupe : Régulateurs-accumulateurs. — Les lampes à arc alimentées par les aecumalateurs absorbent 4,5 ampères (n° 277) et brûlent jusqu'à 8 heures du soir, soit 740 heures par an. Elles émettent dans l'année une quantité de lumière égale à

$$3 \times 30 \times 740 = 66\ 600 \text{ carcels-heure.}$$

Quatrième groupe : Incandescence-accumulateurs. — Les lampes à incandescence alimentées par les accumulateurs absorbent 35 ampères (n° 277). Sur les 100 lampes, les 50 du rez-de-chaussée brûlent jusqu'à 8 heures du soir, soit 740 heures pour l'année, et demandent 17,5 ampères ; 30 lampes du 1er étage, exigeant 10,5 ampères, sont allumées jusqu'à minuit au maximum, mais en moyenne jusqu'à dix heures, soit pendant 1 460 heures pour l'année; enfin, les 20 lampes du 2me étage, absorbent 7 ampères, éclairent en moyenne 2 heures par jour, soit 730 heures pour l'année.

La quantité de lumière totale produite dans l'année par les lampes à incandescence de ce circuit peut être ainsi détaillée :

Rez-de-chaussée, 50 lampes de 16 bougies pendant 740 heures . . .	592 000 bougies-heure.
1er étage, 30 lampes de 16 bougies pendant 1 460 heures.	700 800 —
2e étage, 20 lampes de 16 bougies pendant 730 heures	233 600 —
Total	1 526 400 bougies-heure.

Soit environ 152 640 carcels-heure (nº 119).

300. Partie commune à toute l'installation. — La dépense commune à l'installation se compose des éléments désignés ci-après :

Dynamo	2 200 fr.
Appareillage.	460
Total.	2 660

La répartition de cette dépense entre les quatre groupes proportionnellement à l'intensité absorbée par chacun d'eux, donne les résultats suivants :

Dynamo.

1er groupe. Régulateurs-dynamo. . . .	$\frac{2\,200 \times 45,7}{87,9} =$	1 144 fr.
2e groupe. Incandescence-dynamo . . .	$\frac{2\,200 \times 2,7}{87,9} =$	67
3e groupe. Régulateurs-accumulateurs. .	$\frac{2\,200 \times 4,5}{87,9} =$	113
4e groupe. Incandescence-accumulateurs.	$\frac{2\,200 \times 35}{87,9} =$	876

Appareillage.

1er groupe. Régulateurs-dynamo. . . .	$\frac{460 \times 4\,5,7}{87,9} =$	239 fr.
2e groupe. Incandescence-dynamo . . .	$\frac{460 \times 2,7}{87,9} =$	14
3e groupe. Régulateurs-accumulateurs. .	$\frac{460 \times 4,5}{87,9} =$	24

4e groupe. Incandescence-accumulateurs. $\frac{460 \times 35}{87,9} = 183$

301. Circuit de secours. — Le circuit de secours n'étant utilisé que pour les bâtiments d'exploitation, la dépense correspondant à son installation, soit 300 francs, sera répartie entre les deux premiers groupes.

1er groupe. Régulateurs-dynamo . . $\frac{300 \times 45,7}{48,4} = 284$ fr.

2e — Incandescence-dynamo . $\frac{300 \times 2,7}{48,4} = 16$

302. Accumulateurs. — Le nombre d'ampères-heure utilisé pour le groupe régulateurs-accumulateurs est égal à

$$4,5 \times 740 = 3\,330 \text{ ampères-heure par an.}$$

Le nombre d'ampères-heure absorbé par l'éclairage à incandescence est évalué comme suit :

Rez-de-chaussée	17,5 × 740 =	12 950	ampères-heure
1er étage	10,5 × 1 460 =	15 330	—
2e étage	7 × 730 =	5 110	—
Total.		33 390	ampères-heure par an.

Le nombre d'ampères-heure total fourni par les accumulateurs est par suite égal à 36 720 pour l'année. La dépense relative à l'installation de la batterie, soit 7 850 fr., se répartit ainsi qu'il suit :

3e gr. Régulateurs-accumulateurs. $\frac{7\,850 \times 3\,330}{36\,720} = 712$ fr.

4e — Incandesc.-accumulateurs. . $\frac{7\,850 \times 33\,390}{36\,720} = 7\,138$ fr.

303. Accessoires des accumulateurs. — La dépense de 610 fr. relative à l'appareillage et au tableau de distribution des accumulateurs se répartit de la façon suivante :

3e groupe. Régulateurs-accumulateurs. $\frac{610 \times 3\,330}{36\,720} = 55$ fr.

4e — Incandesc.-accumulateurs. . $\frac{610 \times 33\,390}{36\,720} = 555$ fr.

304. Force motrice. — La dynamo étant de 10 500 watts, lorsqu'elle travaille à peu près à son maximum pour l'éclairage du soir, elle produit un travail dont l'expression est donnée par la formule du n° 31 :

$$N = \frac{EI}{g \times 75} = \frac{10\,500}{9{,}808 \times 75} = 14{,}28 \text{ chevaux-vapeur.}$$

En prenant le taux de 80 pour cent pour le rendement de la dynamo, le travail emprunté aux transmissions de l'usine est égal à

$$\frac{14{,}28 \times 100}{80} = 17{,}85 \text{ chevaux-vapeur.}$$

Ces 17,85 chevaux doivent être répartis proportionnellement aux intensités des courants parcourant les circuits des lampes à arc et à incandescence, c'est-à-dire de la façon suivante :

1er gr. Régulateurs-dynamo. $\frac{17{,}85 \times 45{,}7}{48{,}4} = 16{,}85$ chev.-vap.

2e — Incandesc.-dynamo. . $\frac{17{,}85 \times 2{,}7}{48{,}4} = 1$ chev.-vap.

Pour la charge des accumulateurs, la dynamo ne travaille pas à son maximum, puisqu'elle produit un courant d'intensité variant entre 30 ou 40 ampères-heure. Il faut donc établir par un autre procédé la quantité de travail qu'il est nécessaire de demander à cette machine, pour produire l'éclairage réel.

Nous avons vu (n° 277) que lorsque les accumulateurs produisaient le travail maximum, il fallait emmagasiner 186 ampères-heure pour faire brûler :

1° Les 3 régulateurs de 30 carcels pendant 4 heures, correspondant à une quantité de lumière de $30 \times 3 \times 4 =$. . . . 360 carcels-heure.

2° 50 lampes de 16 bougies pendant 4 heures, soit $4 \times 50 \times 16 = 3\,200$ bougies-heure ou environ. . . . . 320 — —

3° 30 lampes de 16 bougies pendant 8 heures, soit $8 \times 30 \times 16 = 3\,840$ bougies-heure ou . . . . 384 — —

4° 20 lampes de 16 bougies pendant 2 heures, soit $2 \times 20 \times 16 = 640$ bougies-heure ou. . . . . 64 — —

Soit en tout . . . . 1 128 carcels-heure.

Les 186 ampères-heure nécessaires à la production de ces 1 128 carcels-heure correspondent à la décharge des accumulateurs ; mais, pour les charger, il faudra leur fournir 233 ampères-heure (n° 278). La dynamo, pour fournir les 1 128 carcels-heure, devra donc produire un travail de

$$233 \times 210 = 48\,930 \text{ watts-heure},$$

puisqu'elle fonctionne à 210 volts ; ce travail, évalué en chevaux-vapeur, correspond à

$$T = \frac{EI}{75\,g} = \frac{48\,930}{9{,}808 \times 75} = 66{,}52 \text{ chevaux-heure.}$$

En adoptant le chiffre de 80 pour 100 pour le rendement de la dynamo, elle devra emprunter aux transmissions de l'usine un travail égal à

$$\frac{66{,}52 \times 100}{80} = 83{,}15 \text{ chevaux-heure.}$$

Cette force motrice sera répartie entre les circuits des lampes à arc et à incandescence, proportionnellement aux nombres d'ampères-heure utilisés par chacun d'eux, savoir :

Régulateurs-accumulateurs.

360 carcels-heure absorbant 18 ampères-heure (n° 276),

$$\frac{83{,}15 \times 18}{186} = 8{,}05 \text{ chevaux-heure.}$$

Incandescence-accumulateurs.

768 carcels-heure absorbant 168 ampères-heure.

$$\frac{83,15 \times 168}{186} = 75,10 \text{ chevaux-heure.}$$

Le carcel-heure correspond par suite, pour chaque espèce d'éclairage, au travail suivant :

Régul.-accumul. : $\frac{8,05}{360} = 0,0224$ cheval-h. par carcel-h.

Incand.-accumul. : $\frac{75,10}{768} = 0,0978$ cheval-h. par carcel-h.

Nous avons établi ce calcul pour le cas du travail maximum des accumulateurs. En été, la batterie emmagasine et restitue une moins grande quantité d'électricité, mais son rendement est à peu près le même (nº 95). Les chiffres que nous indiquons correspondent par suite à la consommation de force motrice maxima par carcel-heure produit.

305. Prix de revient du carcel-heure. — Le prix de revient du carcel-heure peut être évalué de la façon suivante pour les quatre groupes que nous avons considérés. Nous admettrons que le cheval-heure, pris sur les transmissions de l'usine, revient à 0 fr. 20.

306. 1er Groupe. Régulateurs-Dynamo. — 1º Frais annuels :

Intérêt et amortissement de la dynamo, à raison de 15 pour 100 sur 1 144 fr.	171,20
Intérêt et amortissement des accessoires généraux à raison de 10 pour 100 sur 239 fr.	23,90
Intérêt et amortissement de l'appareillage du circuit de secours à raison de 10 pour 100 sur 284 fr. .	28,40
Intérêt et amortissement du circuit des régulateurs, à raison de 10 pour 100 sur 3 400 fr. . . .	340 »
Total pour 380 heures.	563,50
Soit par heure	1,483

2° Force motrice par heure :	
16,85 chevaux à 0 fr. 20 par heure.	3,370
3° Usure de charbons.	

Pour les 20 lampes de 6,9 ampères, nous emploierons des crayons positifs de 12 millimètres et des négatifs de 8 millimètres ; pour les 4 régulateurs de 11,6 ampères, nous nous servirons de crayons de 18 et 12 millimètres. Admettons que l'usure des charbons positifs soit de 5 centimètres et celle des négatifs, 3 centimètres par heure, comme dans les exemples précédents :

Charbons à mèche de	12	millim.	1 mètre	à 0 fr.	40	0,400
— —	18	—	0m,20	à 0	85	0,170
— homogènes	8	—	0m,60	à 0	23	0,138
— —	12	—	0m,12	à 0	36	0,043
Total par heure						5.604

Cette dépense correspond à la production d'une intensité lumineuse de 1 400 carcels-heure. Le carcel-heure revient par suite à

$$\frac{5,604}{1\,400} = 0 \text{ fr. } 004$$

307. 2e Groupe. Incandescence-Dynamo. — 1° Frais annuels :

Intérêt et amortissement de la dynamo, à raison de 15 pour 100 sur 67 fr.	7,03
Intérêt et amortissement des accessoires généraux, à raison de 10 pour 100 sur 14 fr.	1,40
Intérêt et amortissement de l'appareillage du circuit de secours, à raison de 10 pour 100 sur 16 fr.	1,60
Intérêt et amortissement du circuit des lampes à incandescence alimentées par la dynamo, à raison de 10 pour 100 sur 210 fr.	21, »
Total pour 380 heures.	31,03
Soit par heure.	0,082

2° Force motrice par heure :

1 cheval-heure à 0 fr. 20. 0,20

3° Remplacement des lampes :

En admettant une durée de 1 000 heures par lampe, le circuit comprenant 10 lampes, l'usure correspondant à une heure sera égale à 0,010 lampe à 1,10 fr. soit 0,011

Total par heure. 0,293

Cette dépense correspond à la production de 16 carcels-heure. Le carcel-heure revient par suite à

$$\frac{0,293}{16} = 0 \text{ fr. } 018$$

308. 3me Groupe. Régulateurs-accumulateurs. — 1° Frais annuels.

Intérêt et amortissement de la dynamo à raison de 15 pour 100 sur 113 fr. 16,95

Intérêt et amortissement des accessoires généraux, à raison de 10 pour 100 sur 24 fr. 2 40

Intérêt et amortissement des accumulateurs, à raison de 20 pour 100 sur 712 fr. 142 40

Intérêt et amortissement des accessoires des accumulateurs, à raison de 10 pour 100 sur 55 fr. . . 5 50

Intérêt et amortissement du circuit des régulateurs alimentés par les accumulateurs à raison de 10 pour 100 sur 470 fr. . . . . 47 »

Total pour 66 600 carcels-heure 214,25

Soit par carcel-heure 0,003

2° Force motrice par heure et par carcel :

0,0224 cheval-heure à 0 fr. 20 0,004

3° Usure des charbons.

Pour les 3 lampes de 4,5 ampères, nous amploierons des charbons positifs à mèche de 10 millimètres et des crayons négatifs homogènes de 6,5 millimètres :

Charb. à mèche de 10 mill., 0,15 m. à 0,31 =	0,046	
— homogènes de 6,5 — 0,09 m. à 0,22 =	0,020	
Total pour 90 carcels-heure. . . . =	0,066	
Soit par carcel-heure.		0,001
Prix de revient total du carcel-heure.		0,008

309. 4me Groupe. Incandescence accumulateurs. — 1° Frais annuels.

Intérêt et amortissement de la dynamo, à raison de 15 pour 100 sur 876 fr.	131,40
Intérêt et amortissement des accessoires généraux, à raison de 10 pour 100 sur 183 fr. . . .	18 30
Intérêt et amortissement des accumulateurs à raison de 20 pour 100 sur 7138 fr.	1 427 60
Intérêt et amortissement des accessoires des accumulateurs, à raison de 10 pour 100 sur 555 fr. .	55 50
Intérêt et amortissement de la canalisation proprement dite, à raison de 10 pour 100 sur 2800 fr.	280 »
Total pour 152 640 carcels-heure. . . .	1 912,80
Soit par carcel-heure	0,012
2° Force motrice :	
0,0978 cheval-vapeur à 0 fr. 20	0,020

3° Remplacement des lampes :

Une lampe donnant 1,6 carcel brûle 1 000 heures.

Donc, par carcel-heure, il faut $\frac{1}{1\,600}$ = 0,0006 lampe

à 1,10 fr.	0,001
Prix de revient total par carcel-heure. . . .	0,033

310. Comparaison avec l'éclairage au gaz. — En résumé, le prix de revient du carcel-heure dans les quatre cas que nous avons examinés varie entre 0 fr. 004 et 0 fr. 33.

Dans l'éclairage au gaz, lorsque le gaz est payé 0 fr. 30 le mètre cube, le carcel-heure de lumière revient au mi-

nimum à o fr. 010 pour l'éclairage par becs Auer (nº 205). La lumière électrique produite par les lampes à arc est donc plus économique, dans les conditions du problème, que la lumière du gaz, même lorsqu'elle est fournie par des becs Auer. Par contre, ceux-ci sont plus plus avantageux que les lampes à incandescence, surtout lorsqu'on passe par l'intermédiaire d'accumulateurs.

311. Conclusion.— Dans les trois applications qui viennent d'être développées en détail, nous avons indiqué la marche à suivre pour mettre en pratique les règles contenues dans les premiers chapitres de cet ouvrage. Ces exemples renferment les principes de la solution des problèmes qui se présentent habituellement dans la pratique pour les petites installations isolées, les seules que nous ayons eues en vue.

En s'appliquant à suivre attentivement les détails mentionnés dans le courant du présent manuel, tant au point de vue de l'aménagement proprement dit des installations qu'à celui des soins et précautions à prendre pour la bonne marche des divers appareils, tout industriel pourra installer dans son établissement la lumière électrique, avec la certitude d'obtenir d'excellents résultats.

---

312. Tableau des carrés des 100 premiers nombres, des circonférences et des surfaces des cercles ayant pour diamètres de 1 à 100.

n	n^2	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n	n^2	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
1	1	3,14	0,79	51	2 601	160,22	2 042,82
2	4	6,28	3,14	52	2 704	163,36	2 123,72
3	9	9,42	7,07	53	2 809	166,50	2 206,18
4	16	12,57	12,57	54	2 916	169,65	2 290,22
5	25	15,71	19,63	55	3 025	172,79	2 375,83
6	36	18,85	28,27	56	3 136	175,93	2 463,01
7	49	21,99	38,48	57	3 249	179,07	2 551,76
8	64	25,13	50,27	58	3 364	182,21	2 642,08
9	81	28,27	63,62	59	3 481	185,35	2 733,97
10	100	31,42	78,54	60	3 600	188,50	2 827,43
11	121	34,56	95,03	61	3 721	191,64	2 922,47
12	144	37,70	113,10	62	3 844	194,78	3 019,07
13	169	40,84	132,73	63	3 969	197,92	3 117,25
14	196	43,98	153,94	64	4 096	201,06	3 216,99
15	225	47,12	176,71	65	4 225	204,20	3 318,31
16	256	50,27	201,06	66	4 356	207,34	3 421,19
17	289	53,41	226,98	67	4 489	210,49	3 525,65
18	324	56,55	254,47	68	4 624	213,63	3 631,68
19	361	59,69	283,53	69	4 761	216,77	3 739,28
20	400	62,83	314,16	70	4 900	219,91	3 848,45
21	441	65,97	346,36	71	5 041	223,05	3 959,19
22	484	69,12	380,13	72	5 184	226,19	4 071,50
23	529	72,26	415,48	73	5 329	229,34	4 185,39
24	576	75,40	452,39	74	5 476	232,48	4 300,84
25	625	78,54	490,87	75	5 625	235,62	4 417,86
26	676	81,68	530,93	76	5 776	238,76	4 536,46
27	729	84,82	572,56	77	5 929	241,90	4 656,63
28	784	87,96	615,75	78	6 084	245,04	4 778,36
29	841	91,11	660,52	79	6 241	248,19	4 901,67
30	900	94,25	706,86	80	6 400	251,33	5 026,55
31	961	97,39	754,77	81	6 561	254,47	5 153,00
32	1 024	100,53	804,25	82	6 724	257,61	5 281,02
33	1 089	103,67	855,30	83	6 889	260,75	5 410,61
34	1 156	106,81	907,92	84	7 056	263,89	5 541,77
35	1 225	109,96	962,11	85	7 225	267,03	5 674,50
36	1 296	113,10	1 017,88	86	7 396	270,18	5 808,80
37	1 369	116,24	1 075,21	87	7 569	273,32	5 944,68
38	1 444	119,38	1 134,11	88	7 744	276,46	6 082,12
39	1 521	122,52	1 194,59	89	7 921	279,60	6 221,14
40	1 600	125,66	1 256,64	90	8 100	282,74	6 361,73
41	1 681	128,80	1 320,25	91	8 281	285,88	6 503,88
42	1 764	131,95	1 385,44	92	8 464	289,03	6 647,61
43	1 849	135,09	1 452,20	93	8 649	292,17	6 792,91
44	1 936	138,23	1 520,53	94	8 836	295,31	6 939,78
45	2 025	141,37	1 590,43	95	9 025	298,45	7 088,22
46	2 116	144,51	1 661,90	96	9 216	301,59	7 238,23
47	2 209	147,65	1 734,94	97	9 409	304,73	7 389,81
48	2 304	150,80	1 809,56	98	9 604	307,88	7 542,96
49	2 401	153,94	1 885,74	99	9 801	311,02	7 697,69
50	2 500	157,08	1 963,50	100	10 000	314,16	7 853,98

313. Tableau des pertes de charge en volts dues au passage d'un courant d'intensité *i* ampères, à la température ordinaire, dans un kilomètre de fil de cuivre commercial de diamètre *d* millimètres.

Dmm	I = 1 AMP.	I = 2a	I = 3a	I = 4a	I = 5a	I = 6a	I = 7a	I = 8a	I = 9a	I = 10a
mm	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
0,5	91,27	182,53	273,80	365,06	456,33	547,59	638,86	730,12	821,39	912,66
0,6	63,38	126,76	190,14	253,52	316,90	380,27	443,65	507,03	570,41	633,79
0,7	46,56	93,13	139,69	186,26	232,82	279,38	325,95	372,51	419,08	465,64
0,8	35,65	71,30	106,96	142,61	178,26	213,91	249,56	285,22	320,87	356,52
0,9	28,17	56,34	84,50	112,67	140,84	169,01	197,18	225,34	253,51	281,68
1,	22,82	45,63	68,45	91,26	114,08	136,90	159,71	182,53	205,34	228,16
1,1	18,86	37,72	56,57	75,43	94,29	113,14	132,00	150,86	169,71	188,57
1,2	15,85	31,69	47,54	63,38	79,23	95,07	110,92	126,76	142,61	158,45
1,3	13,50	27,00	40,50	54,00	67,51	81,01	94,51	108,01	121,51	135,01
1,4	11,64	23,28	34,92	46,56	58,21	69,85	81,49	93,13	104,77	116,41
1,5	10,14	20,28	30,42	40,56	50,71	60,85	70,99	81,13	91,27	101,41
1,6	8,91	17,83	26,74	35,65	44,57	53,48	62,39	71,30	80,22	89,13
1,7	7,89	15,79	23,69	31,58	39,48	47,37	55,27	63,16	71,06	78,95
1,8	7,01	14,02	21,03	28,04	35,05	42,06	49,07	56,08	63,07	70,10
1,9	6,32	12,64	18,96	25,28	31,60	37,92	44,24	50,56	56,88	63,20
2,	5,70	11,41	17,11	22,82	28,52	34,22	39,93	45,63	51,34	57,04
2,1	5,17	10,35	15,52	20,70	25,87	31,04	36,22	41,39	46,57	51,74
2,2	4,71	9,43	14,14	18,86	23,57	28,28	33,00	37,71	42,43	47,14
2,3	4,31	8,63	12,94	17,25	21,57	25,88	30,19	34,50	38,82	43,13
2,4	3,96	7,92	11,88	15,84	19,81	23,77	27,73	31,69	35,65	39,61
2,5	3,65	7,30	10,95	14,60	18,26	21,91	25,56	29,21	32,86	36,51
2,6	3,38	6,75	10,13	13,50	16,88	20,25	23,63	27,00	30,38	33,75

D^{mm}	I = 1 AMP.	I = 2ª	I = 3ª	I = 4ª	I = 5ª	I = 6ª	I = 7ª	I = 8ª	I = 9ª	I = 10
mm	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
2,7	3,13	6,26	9,39	12,52	15,65	18,78	21,91	25,04	28,17	31,30
2,8	2,91	5,82	8,73	11,64	14,55	17,46	20,37	23,28	26,19	29,10
2,9	2,71	5,43	8,14	10,85	13,57	16,28	18,99	21,70	24,42	27,13
3,	2,54	5,07	7,61	10,14	12,68	15,21	17,75	20,28	22,82	25,35
3,1	2,37	4,75	7,12	9,50	11,87	14,24	16,62	18,99	21,37	23,74
3,2	2,23	4,46	6,69	8,92	11,15	13,37	15,60	17,83	20,06	22,29
3,3	2,10	4,19	6,29	8,38	10,48	12,57	14,67	16,76	18,86	20,95
3,4	1,97	3,95	5,92	7,90	9,87	11,84	13,82	15,79	17,77	19,74
3,5	1,86	3,73	5,59	7,45	9,32	11,18	13,04	14,90	16,77	18,63
3,6	1,76	3,52	5,28	7,04	8,81	10,57	12,33	14,09	15,85	17,61
3,7	1,67	3,33	5,00	6,67	8,33	10,00	11,67	13,33	15,00	16,67
3,8	1,58	3,16	4,74	6,32	7,90	9,48	11,06	12,64	14,22	15,80
3,9	1,50	3,00	4,50	6,00	7,50	9,00	10,50	12,00	13,50	15,00
4,	1,43	2,85	4,28	5,70	7,13	8,56	9,98	11,41	12,83	14,26
4,1	1,36	2,71	4,07	5,43	6,79	8,14	9,50	10,86	12,21	13,57
4,2	1,29	2,59	3,88	5,17	6,47	7,76	9,05	10,34	11,64	12,93
4,3	1,23	2,47	3,70	4,94	6,17	7,40	8,64	9,87	11,11	12,34
4,4	1,18	2,36	3,54	4,72	5,90	7,07	8,25	9,43	10,61	11,79
4,5	1,13	2,25	3,38	4,51	5,64	6,76	7,89	9,02	10,14	11,27
4,6	1,08	2,16	3,23	4,31	5,39	6,47	7,55	8,62	9,70	10,78
4,7	1,03	2,07	3,10	4,13	5,17	6,20	7,23	8,27	9,30	10,33
4,8	0,99	1,98	2,97	3,96	4,95	5,94	6,93	7,92	8,91	9,90
4,9	0,95	1,90	2,85	3,80	4,75	5,70	6,65	7,60	8,55	9,50
5,	0,91	1,83	2,74	3,65	4,57	5,48	6,39	7,30	8,22	9,13

314. Tableau des diamètres des fils de ferro-nickel à employer pour résistances, leur température ne dépassant pas de 10° la température ambiante.

DIAMÈTRES en millimètres.	INTENSITÉ MAXIMA du courant en ampères.	RÉSISTANCE KILOMÉTRIQUE EN OHMS à 0° centigrade	à 20°.
mm	a	ohms	ohms
0,5	0,6	3 989	4 063
1	1,4	997	1 015
1,5	2,2	443	451
2	2,9	249	254
2,5	3,7	160	163
3	4,5	111	113
3,5	5,4	81	83
4	6,3	62	63
4,5	7,2	49	50
5	8,1	40	41

315. Tableau des diamètres des fils de ferro-nickel à employer pour rhéostats, leur température ne dépassant pas de 60° la température ambiante.

DIAMÈTRES en millimètres.	INTENSITÉ MAXIMA du courant en ampères.	RÉSISTANCE KILOMÉTRIQUE EN OHMS à 0° centigrade.	à 70°.
mm	a	ohms	ohms
0,5	1,5	3 989	4 240
1	3	997	1 060
1,5	4,7	443	472
2	6,4	249	265
2,5	8,2	160	170
3	10	111	118
3,5	12	81	86
4	14	62	66
4,5	16,1	49	52
5	18,2	40	42

316. Tableau des dimensions courantes des câbles, résistances et intensités maxima du courant correspondantes.

NOMBRE de fils du toron.	DIAMÈTRE des fils en millim.	SECTION en millimètre carré.	RÉSISTANCE par kilomètre en ohms.	INTENSITÉ MAXIMA du courant en ampères (câbles isolés).
	mm	mm2	ohms	a
7	0,7	2,69	6,63	8
7	0,8	3,51	5,11	11
7	0,9	4,45	4,04	13
7	1	5,49	3,27	16
7	1,14	7,14	2,52	20
7	1,2	7,91	2,27	23
7	1,3	9,28	1,93	27
7	1,4	10,77	1,67	31
7	1,5	12,36	1,45	35
7	1,6	14,07	1,34	40
7	1,7	15,89	1,13	45
7	1,8	17,78	1,01	49
19	1,14	19,38	0,93	53
19	1,2	21,47	0,84	57
19	1,3	25,08	0,71	62
19	1,4	29,26	0,61	66
19	1,5	33,44	0,535	72
19	1,6	38,19	0,471	81
19	1,7	43,13	0,417	90
19	1,8	48,26	0,372	98
37	1,4	56,98	0,315	112
37	1,5	65,12	0,275	130
37	1,6	74,37	0,242	141
37	1,8	93,98	0,190	152
37	2	116,18	0,155	167

TABLE DES MATIÈRES

Pages

PREMIÈRE PARTIE

DÉFINITIONS ET LOIS GÉNÉRALES.

DEUXIÈME PARTIE

MACHINES DYNAMO-ELECTRIQUES.

TROISIÈME PARTIE

ACCUMULATEURS.

QUATRIÈME PARTIE

DISTRIBUTION DE L'ÉLECTRICITÉ POUR L'ÉCLAIRAGE.

CHAPITRE I. — PHOTOMÉTRIE.

CHAPITRE II. — ÉCLAIRAGE PAR LAMPES A INCANDESCENCE.

CHAPITRE III. — ÉCLAIRAGE PAR LAMPES A ARC.

CINQUIÈME PARTIE

DISPOSITIONS GÉNÉRALES DES CANALISATIONS.

SIXIÈME PARTIE

PRIX DE L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE.



SEPTIÈME PARTIE

EXEMPLES PRATIQUES D'INSTALLATION.

1er EXEMPLE. — ÉCLAIRAGE PROVENANT D'UNE USINE CENTRALE

2e EXEMPLE. — ÉCLAIRAGE DIRECT PAR DYNAMO.

3e EXEMPLE. — ÉCLAIRAGE PAR DYNAMO ET ACCUMULATEURS.

CATALOGUE DE LIVRES

SUR

L'ÉLECTRICITÉ ET LES MACHINES

PUBLIÉS PAR

LA LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, BAUDRY ET Cie

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, A PARIS

Le catalogue complet est envoyé sur demande.

ÉLECTRICITÉ

Traité d'électricité et de magnétisme.

Traité d'électricité et de magnétisme. Théorie et applications, instruments et méthodes de mesures électriques. Cours professé à l'école supérieure de télégraphie, par A. VASCHY, ingénieur des télégraphes, examinateur d'entrée à l'École Polytechnique, 2 volumes grand in-8°, avec de nombreuses figures dans le texte. 25 fr.

Théorie de l'électricité.

Théorie de l'électricité. Exposé des phénomènes électriques et magnétiques fondé uniquement sur l'expérience et le raisonnement, par A. VASCHY, ingénieur des télégraphes, examinateur d'admission à l'Ecole Polytechnique, 1 beau volume grand in-8°, avec figures dans le texte, relié. 20 fr.

Traité pratique d'électricité.

Traité pratique d'électricité à l'usage des ingénieurs et constructeurs. Théorie mécanique du magnétisme et de l'électricité,

mesures électriques, piles, accumulateurs et machines électrostatiques, machines dynamo-électriques génératrices, transport, distribution et transformation de l'énergie électrique, utilisation de l'énergie électrique, par FÉLIX LUCAS, ingénieur en chef des ponts et chaussées, administrateur des chemins de fer de l'État. 1 volume grand in-8°, avec 278 figures dans le texte. 15 fr.

Électricité industrielle.

Traité pratique d'électricité industrielle. Unités et mesures ; piles et machines électriques ; éclairage électrique ; transmission électrique de la force ; galvanoplastie et électro-métallurgie ; téléphonie, par E. CADIAT et L. DUBOST. 4e édition. 1 volume grand in-8°, avec 257 gravures dans le texte, relié. 16 fr. 50

Manuel pratique de l'électricien.

Manuel pratique de l'électricien. Guide pour le montage et l'entretien des installations électriques, par E. CADIAT, 2e édition, 1 volume in-12, avec de nombreuses figures dans le texte, relié. 7 fr. 50

Aide-Mémoire de poche de l'électricien.

Aide-mémoire de poche de l'électricien ; guide pratique à l'usage des ingénieurs, monteurs, amateurs électriciens, etc., par PH. PICARD et A. DAVID, ingénieurs des arts et manufactures. 1 petit volume, format oblong de 0m,125 × 0m,08, relié en maroquin, tranches dorées. 5 fr.

Contrôle des installations électriques.

Contrôle des installations électriques au point de vue de la sécurité. — Le courant électrique, production et distribution de l'énergie, mesures, effets dangereux des courants, contrôle à l'usine, contrôle du réseau, des installations intérieures et des installations spéciales, résultats d'exploitation, règlements français et étrangers, par A. MOMMERQUÉ, ingénieur en chef des ponts et chaussées, ancien ingénieur des services de la première section des travaux de Paris et du secteur municipal d'électricité. 1 volume in-8°, avec figures dans le texte, relié. 10 fr.

L'Année électrique.

L'année électrique, ou Exposé annuel des travaux scientifiques des inventions et des principales applications de l'électricité à

l'industrie et aux arts, par PH. DELAHAYE. 8 volumes in-12, 1885 à 1892. Prix de chaque volume. 3 fr. 50

Pile électrique.

Traité élémentaire de la pile électrique, par ALFRED NIAUDET, 3e édition revue par HIPPOLYTE FONTAINE et suivie d'une notice sur les accumulateurs, par E. HOSPITALIER. 1 volume grand in-8°, avec gravures dans le texte. 7 fr. 50

Électrolyse.

Electrolyse ; renseignements pratiques sur le nickelage, le cuivrage, la dorure, l'argenture, l'affinage des métaux et le traitement des minerais au moyens de l'électricité, par HIPPOLYTE FONTAINE, 2e édition. 1 volume grand in-8°, avec gravures dans le texte, relié. 15 fr.

Électrolyse.

Etude sur le raffinage électrolytique du cuivre noir, par HUGON, 1 brochure grand in-8°. 1 fr. 50

Machines dynamo-électriques.

Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques par SILVANUS THOMPSON, traduit par E. BOISTEL, 2e édition. 1 volume grand in-8°. avec 558 gravures dans le texte, relié. 30 fr.

Machines dynamo-électriques.

Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques, par R.-V. PICOU, ingénieur des arts et manufactures, 1 volume grand in-8°, avec 198 figures dans le texte. 12 fr. 50

Les Moteurs électriques à champ magnétique tournant.

Les moteurs électriques à champ magnétique tournant, par R.-V. PICOU, *Supplément au Traité des machines dynamo-électriques du même auteur.* 1 brochure grand in-8°, avec figures dans le texte. 1 fr. 50

Machines dynamo-électriques.

La machine dynamo-électrique, par FRŒLICH, traduit de l'allemand par E. BOISTEL, 1 volume in-8°, avec 62 figures dans le texte. 10 fr.

Eclairage à l'électricité.

Eclairage à l'électricité. Renseignements pratiques, par HIPPOLYTE FONTAINE. 4e édition entièrement refondue. 1 volume grand in-8°, avec figures dans le texte.

En préparation.

Eclairage électrique.

Eclairage électrique de l'Exposition universelle de 1889. Monographie des travaux exécutés par le syndicat international des électriciens,par HIPPOLYTE FONTAINE. 1 volume in-4°, avec 29 planches tirées à part et 32 gravures dans le texte, relié. 25 fr.

Eclairage électrique.

Manuel pratique d'éclairage électrique pour installations particulières, maisons d'habitation, usines, salles de réunion, etc., par EM. CAHEN, ingénieur des ateliers de construction des manufactures de l'Etat ; 2e édition. 1 volume in-12, avec de nombreuses figures dans le texte. Prix, relié. 7 fr. 50

L'Éclairage à Paris.

L'éclairage à Paris. Etudes technique des divers mode d'éclairage employés à Paris sur la voie publique, dans les promenades et jardins, dans les monuments, les gares, les théâtres, les grands magasins, etc., et dans les maisons particulières. — Gaz, électricité, pétrole, huile, etc, ; usines et stations centrales, canalisations et appareils d'éclairage ; organisation administrative et commerciale, rapports des compagnies avec la ville ; traités et conventions ; calcul de l'éclairement des voies publiques ; prix de revient, par HENRI MARÉCHAL, ingénieur des ponts et chaussées et du service municipal de la ville de Paris, 1 volume grand in-8°, avec 221 figures dans le texte, relié. 20 fr.

Eclairage électrique.

Etude pratique sur l'éclairage électrique des gares de chemins de fer, ports, usines, chantiers et établissements industriels par GEORGES DUMONT,avec la collaboration de GUSTAVE BAIGNIÈRES. 1 volume grand in-8°. avec 2 planches. 5 fr.

Electricité.

Manuel élémentaire d'électricité, par FLEEMING JENKIN,

professeur à l'Université d'Edimbourg ; traduit de l'anglais par N. de TÉDESCO. 1 volume in-12, avec 32 gravures. 2 fr.

Les courants alternatifs d'électricité.

Les courants alternatifs d'électricité, par Th.-H. BLAKESLEY, professeur au Royal Naval College de Greenwich, traduit de la 3e édition anglaise et augmenté d'un appendice, par W.-C. RECHNIEWSKI. 1 volume in-12, avec figures dans le texte, relié. 7 fr, 50

Problèmes sur l'électricité.

Problèmes sur l'électricité. Recueil gradué comprenant toutes les parties de la science électrique, par le Dr ROBERT WEBER, Professeur à l'Académie de Neuchâtel. 2e édition. 1 volume in-12, avec figures dans le texte. 6 fr.

L'Accumulateur voltaïque.

Traité élémentaire de l'accumulateur voltaïque, par ÉMILE REYNIER. 1 volume grand in-8°, avec 62 gravures dans le texte et un portrait de M. GASTON PLANTÉ. 5 fr.

Les voltamètres-régulateurs.

Les voltamètres-régulateurs zinc-plomb. Renseignements pratiques sur l'emploi de ces appareils, leur combinaison avec les dynamos et les circuits d'éclairage, par EMILE REYNIER. 1 brochure in-8°, avec les gravures et schémas d'installation 1 fr. 25.

Le Téléphone.

Le Téléphone, par WILLIAM-HENRI PREECE, électricien en chef du *British Post Office*, et JULIUS MAIER, docteur ès sciences physiques. 1 volume grand in-8°, avec 290 gravures dans le texte. 15 fr.

Télégraphie électrique.

Traité de Télégraphie. — Production du courant électrique. — Organes de réception. — Premiers appareils. — Appareil Morse. — Appareils accessoires. — Installations de postes. — Propriétés électriques des lignes. — Lois de la propagation du courant. — Essais électriques, recherches des dérangements. — Appareils de translation, de décharge et de compensation. — Description des principaux appareils et des différents systèmes

de transmission. Établissement des lignes aériennes, souterraines et sous-marines, par H. THOMAS, ingénieur des télégraphes. 1 volume grand in-8°, avec 702 figures dans le texte, relié. 25 fr.

Télégraphie sous-marine.

Traité de télégraphie sous-marine. — Historique. — Composition et fabrication des câbles télégraphiques. — Immersion et réparation des câbles sous-marins. — Essais électriques. — Recherche des défauts. — Transmission des signaux. — Exploitation des lignes sous-marines, par WUNSCHENDORFF, ingénieur des télégraphes, 1 volume grand in-8°, avec 469 gravures dans le texte. 40 fr.

Tirage des mines par l'électricité.

Le tirage des mines par l'électricité, par PAUL-F. CHALONS, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume in-18 jésus, avec 90 figures dans le texte. Prix, relié. 7 fr. 50

MÉCANIQUE ET MACHINES

Portefeuille des machines.

Portefeuille économique des machines, de l'outillage et du matériel, relatifs à la contruction, à l'industrie, aux chemins de fer, sux routes, aux mines, à la navigation, à l'électricité etc.; contenant un choix des objets les plus intéressants des expositions industrielles, fondé par OPPERMANN. 12 livraisons par an formant un beau volume de 50 à 50 planches et 200 colonnes de texte. Abonnements : Paris,15 fr. — Départements et Belgique, 18 fr. — Union postale. 20 .r.

Prix de l'année parue, reliée. 20 fr-

Le 3e série a commencé à paraître en 1876.

Agenda Oppermann.

Agenda Oppermann, paraissant chaque année. Elégant carnet de poche contenant tous les chiffres et tous les renseignements techniques d'un usage journalier. Rapporteur d'angles, coupe géologique du globe terrestre, guide du métreur. — Résumé de géodésie. — Poids et mesures, monnaies françaises et étrangères. Renseignements mathématiques et géométriques. — Renseignements physiques et chimiques. — Résistance des matériaux. — Electricité. — Règlements administratifs. — Di-

mensions du commerce. — Prix courants et série de prix. — Tarif des Postes et télégraphes.

Relié en toile, 3 fr.; en cuir, 5 fr. — Pour l'envoi par la poste, 25 c. en plus.

Aide-mémoire de l'ingénieur.

Aide-mémoire de l'ingénieur. Mathématiques, mécanique, physique et chimie, résistance des matériaux, statique des constructions, éléments des machines, machines motrices, constructions navales, chemins de fer, machines-outils, machines élévatoires, technologie, métallurgie du fer, constructions civiles, législation industrielle. Edition française du Manuel de la Société « Hutte », par PHILIPPE HUGUELIN. 1 beau volume contenant plus de 1200 pages avec 506 figures dans le texte, solidement relié en marroquin. 15 fr.

Mécanique appliquée.

Cours élémentaire de mécanique appliquée, à l'usage des écoles primaires supérieures, des écoles professionnelles, des écoles d'apprentissage, des écoles industrielles, des cours techniques et des ouvriers, par BOCQUET, ingénieur, directeur de l'Ecole Diderot. 3e édition. 1 volume in-12, relié. 5 fr.

Physique.

Physique, par GARIEL, ingénieur en chef des ponts et chaussées, professeur de physique à la Faculté de médecine et à l'Ecole nationale des ponts et chaussées, 2 volumes grand in-8°, avec de nombreuses gravures dans le texte. 20 fr.

Traité des chaudières à vapeur.

Traité des chaudières à vapeur. Etude sur la vaporisation dans les appareils industriels, par CHARLES BELLENS, ingénieur. 1 volume grand in-8°, avec 215 figures dans le texte. 20 fr.

Manuel du chauffeur-mécanicien.

Manuel du chauffeur-mécanicien et du propriétaire d'appareils à vapeur, par HENRI MATHIEU, garde-mines, inspecteur des appareils de la Seine, professeur au syndicat général des chauffeurs mécaniciens. 1 volume grand in-8°, avec 409 figures dans le texte. 16 fr.

L'ABC du chauffeur.

L'ABC du chauffeur, par HENRI MATHIEU, contrôleur des mines, officier de l'Instruction publique, avec une introduction par C. WALCKENAER, ingénieur des mines. 1 volume format 0m,15 × 0m,10, avec 66 figures dans le texte, relié. 3 fr.

Traité de la machine à vapeur.

Traité de la machine à vapeur. Description des principaux types et théorie ; étude, constitution, conduite et applications, par ROBERT T. THURSTON, directeur du « Sibley College » Cornell University, ancien président de « l'American Society of Mechanical Engineers », traduit de l'anglais et annoté par MAURICE DEMOULIN. 2 volumes, grand in-8°, avec de nombreuses figures dans le texte, reliés. 60 fr.

Essais de machines et chaudières à vapeur.

Manuel pratique des essais de machines et chaudières à vapeur par ROBERT H. THURSTON, directeur du « Sibley College » Cornell University, ancien président de « l'American Society of Mechanical Engineers », ancien ingénieur de la marine aux Etats-Unis, traduit de l'anglais par AUGUSTE ROUSSEL, ancien élève de l'Ecole Polytechnique et de l'Ecole nationale supérieure des mines. 1 volume grand in-8°, avec de nombreuses figures dans le texte, relié. 25 fr.

Construction des machines à vapeur.

Traité pratique de la construction des machines à vapeur fixes et marines. Résumé des connaissances actuellement acquises sur les machines à vapeur, considérations relatives au type de machines et aux proportions à adopter, détermination des dimensions et des proportions des principaux organes, étude et construction de ces organes, par MAURICE DEMOULIN, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume grand in-8°, avec 483 figures dans le texte, relié. 20 fr.

Indicateur des machines.

L'indicateur du travail et du fonctionnement des machines à piston à vapeur, à eau, à gaz, etc., et son diagramme, par VON PICHLER, traduit par R. SEGUELA, ancien élève de l'Ecole Polytechnique, inspecteur au chemin de fer du Nord. 1 volume in-8°, avec 46 figures dans le texte. 5 fr.

Moteurs à gaz.

Traité théorique et pratique des moteurs à gaz ; gaz de houille, gaz pauvres, air carburé (pétroles) et de leurs applications diverses à l'industrie, la locomotion et la navigation, contenant des détails sur l'installation et l'entretien des moteurs à gaz et suivi d'un tableau résumé de l'industrie du pétrole, par GUSTAVE CHAUVEAU, ingénieur civil, lauréat de la Société technique de l'industrie du gaz en France. 1 volume grand in-8°, avec nombreuses gravures dans le texte. 15 fr.

Laval, imprimerie et stéréotypie E. JAMIN, rue Ricordaine.

